

Luc Frieden
Formateur du nouveau gouvernement
BP 826
L-2018 Luxembourg

Luxembourg, le 11 octobre 2023

Objet : la Vision stratégique ECO2050 pour l'économie luxembourgeoise en 2050

Monsieur Frieden,

Luxembourg Stratégie, la direction de prospective stratégique du ministère de l'Économie, œuvre depuis début 2021 à renforcer la cohérence des stratégies qui façonnent l'économie du Luxembourg (près de 50 actuellement en vigueur) et à faciliter la transformation économique du pays vers plus de résilience, d'inclusivité et de compétitivité.

Dans cet esprit, et au terme d'une initiative prospective collaborative menée entre avril 2022 et juillet 2023, Luxembourg Stratégie, a rendu public la Vision stratégique ECO2050 pour l'économie du Luxembourg en 2050 à l'occasion de sa 3^e conférence annuelle publique le 26.09.23.

La Vision détaille et illustre une trajectoire souhaitable pour le développement économique national en Grande Région pour les trois prochaines décennies en combinant des solutions technologiques, naturelles et comportementales.

Nous avons l'honneur de vous faire parvenir un exemplaire imprimé du Rapport final « Vision ECO2050 ». Il retrace (i) les mégatendances auxquelles nous faisons face, (ii) les scénarios auxquels nous pourrions être confrontés et (iii) les choix stratégiques qui permettraient d'avancer dans l'intérêt du pays, quel que soit le contexte économique dans lequel nous évoluerons effectivement.

Le Rapport est aussi consultable et téléchargeable en ligne sur le site de Luxembourg Stratégie à l'adresse <https://luxstrategie.gouvernement.lu/fr/publicationsbis/rapport-vision-eco2050.html>.

Nous serions honorés de pouvoir vous présenter ce travail en personne et sommes à votre disposition dans le cadre de vos consultations pour la formation du nouveau gouvernement.

Veillez agréer, Monsieur Frieden, l'expression de mes sentiments distingués.

A handwritten signature in dark ink, appearing to read "Pascale Junker", written over a large, light-colored oval shape.

Pascale Junker
Chargée de direction

VISION ECO2050

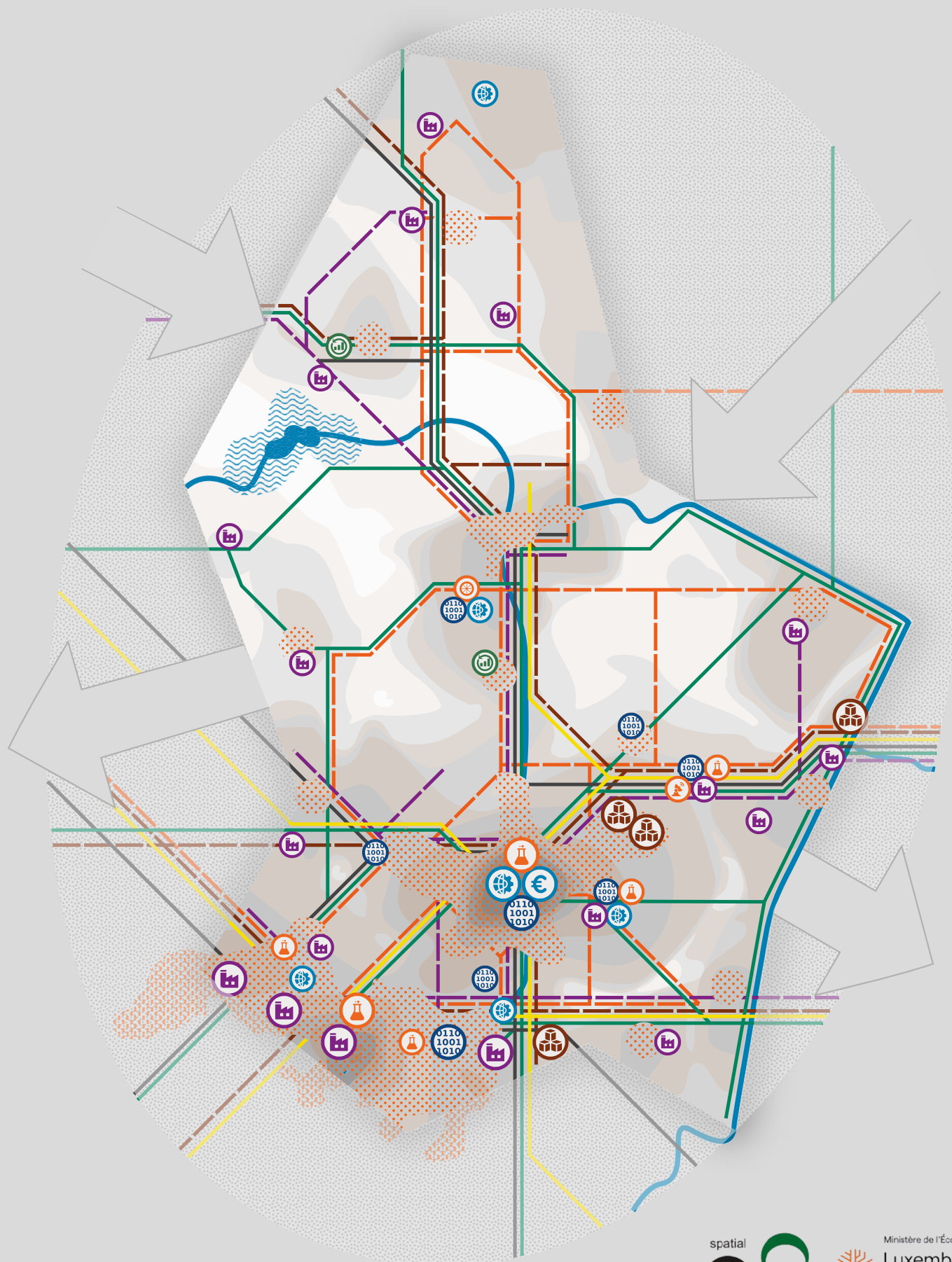
L'avenir de l'économie luxembourgeoise à l'horizon 2050



2023

ECO2050

Situation existante des activités économiques 2023



Principaux sites et activités économiques spécialisés et localisés

-  Zones d'activités économiques existantes (PSZAE)
-  Facilitateur(s) de l'économie circulaire
-  Recherche et développement
-  Parc audiovisuel et des télécommunications
-  Automotive Campus
-  Entreprise(s) multinationale(s) majeure(s)
-  Secteur financier et FinTech
-  Infrastructures pour cloud et data
-  Hub logistique (ferroviaire, aérien, fluvial, routier)

Principaux réseaux nécessaires à l'économie

-  Chemin de fer
-  Autoroutes
-  Réseau cyclable (travail/transport)
-  Réseau de transport de gaz naturel
-  Réseau principal de fibre optique
-  Réseau de transport d'électricité
-  Coopération transfrontalière

Occupation et utilisation du sol

-  Rivière
-  Zones de protection sanitaires du barrage
-  Lac
-  Agglomérations urbaines et centres de développement et d'attraction (CDA) (PDAT)
-  Densité d'emplois/km²

Mot d'introduction



Le Luxembourg a connu une extraordinaire croissance économique et démographique depuis près de 70 ans. La croissance de la population de 150.000 résidents, soit + 30%, en seulement 12 ans (2010-2022) est sans équivalent en comparaison mondiale. En conséquence, les différents systèmes et infrastructures du pays – du transport, du logement, de l'éducation, de la santé et de l'environnement sont sur-sollicités.

Le contexte actuel marqué par une nouvelle donne géopolitique, une accélération de l'urgence climatique et une volonté d'atteindre la neutralité carbone en 2050, nous invitent à interroger ce modèle. Ce questionnement n'est pas nouveau : c'est une discussion qui est menée au Luxembourg depuis 15 ans au moins, sous le terme de « croissance qualitative » et qui resurgit dans l'actualité à chaque fois que sont publiées les prévisions démographiques pour notre pays et à chaque fois qu'un projet industriel ne se réalise pas. C'est aussi un questionnement qui n'est pas particulier à notre pays mais qui se fait dans tous les pays développés, en Europe et au-delà, et qui peut se résumer à la question : comment combiner prospérité économique, bien-être social et préservation de la planète ?

Il est clair pour moi que le modèle économique dominant au niveau global, construit sur l'énergie fossile, au mode de production et consommation linéaires, intensif en utilisation de ressources et fortement polluant, n'est pas soutenable. Ce constat est aujourd'hui partagé majoritairement.

Il est tout d'abord partagé au niveau européen : la feuille de route "Fitfor55", le "Net Zero Industrial Act" et déjà, avant, "NextGen EU" visent une économie décarbonée et digitale dans une Europe maîtrisant sa souveraineté industrielle. Une législation communautaire sur le droit de la réparation est aussi en cours de préparation.

Je pense aussi que le constat est partagé au niveau national, et les résultats de la consultation publique conduite entre décembre 2022 et janvier 2023 auprès de quelques 650 participants, mais aussi des nombreuses discussions publiques avec des parties prenantes le montrent : l'énorme majorité des personnes prenant part au dialogue sont d'avis que les changements profonds doivent être entrepris au niveau de notre modèle économique.

Luxembourg Stratégie est née de la volonté, en tant que Ministre de l'Économie étant entré en fonction quelques semaines avant la déferlante COVID-19, de donner au Ministère un outil de prospective et de réflexion pour assister ses décisions dans la construction d'une économie résiliente, mais aussi compétitive et inclusive, à horizon 2050.

La Vision stratégique que vous tenez entre les mains a pour ambition d'assister, à horizon 2050, tous les acteurs du monde économique et de la société civile dans leurs efforts pour que s'établisse une économie luxembourgeoise sachant gérer avec finesse les incertitudes, poly-crisis et transitions multiples et simultanées. C'est grâce à un délicat équilibre entre innovations technologiques et changement comportemental, redondance et simplification, compétences digitales et savoir-faire technique, efficacité et sobriété, autosuffisance et échanges internationaux que nous pouvons y arriver.

L'économie est une fonction des ressources à sa disposition. Les ressources physiques et territoriales et les compétences sont les vraies ressources rares au Luxembourg. Les besoins additionnels en ressources et financements pour complètement transformer nos systèmes énergétiques et productifs sont sans précédent, et ce dans un contexte de contraction potentielle de l'énergie bon marché et des matières premières élémentaires.

Dans cette course mondiale, le Luxembourg désavantagé par le fait que sa taille le limite dans la recherche d'effets d'échelle qui pourraient absorber les coûts additionnels. Par contre, la taille peut aussi être un avantage pour réagir vite et pour optimiser les ressources présentes sur le territoire.

L'économie du Luxembourg dispose d'atouts inégalables : ouverture internationale et accès au marché unique communautaire, *Gateway to Europe*, position géographique en Europe et potentiel de synergies avec les voisins en Grande Région, tissu industriel

traditionnel et avancées en manufacture, présence de leaders globaux, multilinguisme, expérience en solutions bas-carbone, régimes d'aides étatiques et écosystème R&D performants. La Vision vise à contrer les faiblesses et exalter les forces de l'économie nationale, pour faire des transitions une opportunité économique et sociale. D'un côté, l'économie a un rôle crucial à jouer dans la mise en œuvre des transitions en décarbonant ses processus et en produisant les biens et services décarbonés de l'avenir. D'un autre côté, les préférences d'achat des consommateurs influencent directement les produits à fournir par l'économie. De même, l'économie supporte l'infrastructure essentielle du pays et les besoins de base des personnes et participe à la protection sociale des populations face aux nouvelles incertitudes.

Afin de ne pas remplacer une vulnérabilité par une autre, des priorités doivent être fixées en termes d'utilisation intelligente des technologies, évitant les effets rebond et l'amplification de la dépendance de matériaux critiques, démontrant des gains nets en économie de ressources et combinant l'innovation technologique (offre) avec le changement comportemental (demande). Pour respecter les limites des ressources biophysiques, il sera nécessaire de reconsidérer les volumes de production de certains biens non-essentiels, tout en assurant les services nécessaires et en rendant l'accès aux technologies bas-carbone accessible à tous. Cela passe par la sobriété.

Par son caractère ouvert et non-prescriptif, cette vision veut donner à toutes les forces entrepreneuriales les conditions cadre pour pouvoir agir et prospérer selon leur grès, tout en tendant collectivement vers la résilience de l'économie et de la société.

La marge de manœuvre nationale est largement déterminée par le cadre international et européen. La Vision veut soutenir la réalisation des stratégies économiques en place et à venir. D'ailleurs, nous nous inscrivons dans la continuité et l'amélioration continue. Beaucoup de ces principes et objectifs à long terme étaient déjà présents dans l'étude stratégique prospective Troisième Révolution Industrielle de 2016. Nombreux chantiers ont depuis été mis en œuvre par les entreprises avec, si besoin, le concours de Luxinnovation.

Pour être paré à toutes évolutions possibles et dépasser les clivages, il s'agira d'être agile et d'avoir plusieurs cordes à son arc : l'économie économe, sécurise les facteurs de production, provisionne et crée des réserves, se diversifie, se localise et se globalise au cas par cas. Elle repose sur un mix

d'énergies et de sources d'approvisionnement décarbonées et combine solutions techniques et comportementales, systèmes décentralisés et centralisés, savoirs moderne et digital tout comme traditionnel et manuel.

Dans tous les scénarios, miser sur un climat stable n'est pas une bonne idée. La Vision est complémentaire aux politiques climatiques et énergétiques déjà engagées. Elle contribue à réussir à concilier et à rendre mutuellement bénéfique les différentes transitions – énergétique, digitale, économique, écologique et sociétale.

Dans tous les scénarios, si nous voulons garder nos options et choix, freiner l'augmentation des besoins en énergie et matériaux est une voie à emprunter. Dans tous les scénarios, le double cadre des limites planétaires à ne pas dépasser (plafond) et des fondations socioéconomiques minimales à maintenir (plancher) pour tous doit être notre ambition pour une véritable politique économique résiliente, inclusive et compétitive.

Franz Fayot,
Ministre de l'Économie

Préfaces



The European Union is firmly on the path to achieving climate neutrality and sustainability in the coming decades. Successfully completing this ambitious transition will not only enhance our resilience by limiting the risks posed by climate change and environmental crises, but also strengthen Europe's open strategic autonomy, including its long-term competitiveness and prosperity, social economy model, and ultimately, its global leadership in the new, net-zero economy.

But to make this a reality will require a concerted effort at all levels; local, national and European. And we need to address the challenges which we face today, be it the increasing impacts of climate change, the shifting geopolitical sands, or undergoing the digital transition.

With all these factors to consider, and with the world of tomorrow set to be even more challenging and complex, we as policymakers need to make the most of strategic foresight.

As a modern governance tool, foresight helps us to explore, anticipate and shape the future we want. Applying it in a strategic way leads to better, more coherent, anticipatory policymaking and will help us on our journey towards becoming the first climate neutral continent by 2050.

Since I took on responsibility for embedding foresight into EU policymaking in 2019, it has become increasingly clear how important it is that this effort is matched by our Member States. So I am thrilled to see Luxembourg joining those Member States that make full use of strategic foresight to shape their policies, with the ECO2050 Vision report serving as a prime example.

The report identifies many future challenges that need to be addressed jointly, such as increasing circularity, greening the digital transition, or boosting skills crucial to the green transition. Many of these coincide with the broader challenges for the EU as a whole, as we put forward recently in the Commission's 2023 Strategic Foresight Report.

For instance, a key challenge will be creating a green economy that promotes inclusive growth and wellbeing for all. That will require a different way of looking at progress and development. In other words, we need to look beyond Gross Domestic Product (GDP) as the only measure of economic growth and prosperity. This is why we have launched a new work strand in the European Commission on developing metrics for sustainable and inclusive wellbeing that can be used as a compass for future policymaking at all levels. We are glad to see the ECO2050 Vision report feed into those efforts.

Another key challenge will be strengthening Europe's resilience and open strategic autonomy, by managing the supply of critical raw materials and adopting a systemic long-term approach to avoid falling into a new dependency trap. This report provides insightful reflections on this topic coming as it does from a country with an extensive mining history, considering for example forward-looking possibilities like space mining, the potential of which Luxembourg is already embracing by putting in place an appropriate legal framework.

In conclusion, I would like to commend the work of all the contributors to the ECO2050 Vision report, which is an excellent example of strategic foresight, with its analysis leading to innovative policymaking ideas that will I'm sure prove their merit beyond Luxembourg's borders. It represents a valuable addition to the ongoing foresight work being done across Europe, giving policymakers at all levels inspiration as we seek a credible path towards green growth and enhanced wellbeing.

Maroš Šefčovič,
European Commission Executive
Vice-President for the European
Green Deal, Interinstitutional Relations
and Foresight



Bon nombre de préfaces commencent aujourd'hui par le constat alarmant que notre monde fait face à une multitude de crises inégalées dont l'impact ne fait que s'intensifier eu égard à l'accélération des différentes transitions – climatique, numérique, énergétique, technologique – qui sont en cours et qui, de surplus, sont liées entre elles et exacerbées par le retour de la guerre en Europe. Polycrises, permacrises, résilience – autant de buzzwords qui illustrent le nouveau contexte marqué par des repères ébranlés dans lequel nous évoluons désormais et qui suscite interrogations, doutes et craintes. Mais plutôt que de rester figés dans un sentiment d'impuissance ou de subir les crises, il nous appartient d'aller de l'avant de manière décidée, d'anticiper le long terme, d'être visionnaires. Le statu quo n'est pas une option, car nous n'avons pas de temps à perdre. Si nous voulons éviter que les transitions poursuivent une dynamique qui nous échappe et qui nous dégraderait au rôle de simple spectateur, il convient de nous approprier les changements et d'en faire des opportunités. Nous devons être agiles et flexibles. Nous devons agir en bon père de famille, de manière responsable, dans l'intérêt des générations futures et d'une société résiliente, car nous voulons préserver notre modèle socio-économique qui place l'être humain au centre de nos réflexions. C'est cela le fameux mode de vie européen, le *European way of life*, qui définit l'Union européenne et ses citoyens et qui est unique au monde.

La stratégie « Vision ECO2050 » s'inscrit dans cette démarche volontariste et déterminée qui est aussi celle choisie par la Commission Européenne. Construire un avenir durable en renforçant la compétitivité de l'Europe, son autonomie stratégique ouverte et son leadership économique, tout en augmentant le bien-être des citoyens et en préservant notre nature, tel est le mot d'ordre qui dicte la feuille de route de la Commission. La transformation visée est de nature inclusive et équitable et elle fait des Européens des acteurs du changement structurel et systémique dont nous avons besoin pour réussir notre avenir. En effet, dans notre Europe démocratique, sociale et basée sur des valeurs, compétitivité et bien-être inclusif vont de pair et ne s'excluent pas.

Pour atteindre nos objectifs ambitieux et pour accélérer la réalisation des objectifs de l'UE en matière climatique et énergétique à l'horizon 2030 et la transition vers la neutralité climatique d'ici à 2050, il s'agira d'outiller les Européens pour mieux faire face à l'ensemble de ces défis. Telle est l'idée à la base de l'Année européenne des compétences. Il s'agira aussi d'attirer des investissements stratégiques et massifs et d'améliorer les conditions d'accès de l'industrie au marché des technologies propres dans l'UE. C'est ce que propose le règlement pour une industrie « zéro net ».

L'UE se trouve à un moment clé de son histoire qui requiert une impulsion commune de la part des décideurs politiques et de tous les acteurs de notre société afin de lui permettre d'occuper une position de premier plan dans la course mondiale qui est dorénavant engagée sans retour possible. La Vision ECO2050 contribue à cet appel à l'action conjointe et confirme le Luxembourg comme un partenaire fiable et précieux de l'UE, plus unie et solidaire que jamais, dans sa quête continue vers un modèle plus durable, résilient et équitable.

Anne Calteux,
Représentante de la Commission
européenne au Luxembourg

Préfaces



Luxembourg Stratégie s'est lancé dans un exercice de prospective ambitieux sur les futurs possibles de l'économie luxembourgeoise à l'horizon 2050. Exercice qui a permis de faire émerger une « Vision » des grandes orientations que devrait prendre l'économie du Grand-Duché pour relever les principaux défis de notre temps. Cette démarche propose ainsi d'éclairer les choix politiques qui seront faits.

Dans la démarche conduite par Luxembourg Stratégie, il y a deux temps distincts et complémentaires. Celui d'abord de la prospective dite exploratoire parce qu'elle vise à explorer les futurs possibles sans partis pris et sans préjuger de ce qui est souhaitable. Cette prospective exploratoire s'attache à examiner les grandes évolutions du contexte dans lequel se situe et se situera le Grand-Duché, mais elle doit également identifier les grandes options stratégiques qui peuvent être prises par les acteurs luxembourgeois eux-mêmes. Les évolutions du contexte ne sauraient en effet dicter la conduite du pays, mais a contrario celle-ci ne peut sans risque se décider en faisant abstraction du monde dans lequel elle s'inscrit. C'est à la confrontation entre les grandes dynamiques internes et externes que se situent les principaux enjeux pour l'économie luxembourgeoise. Dans une économie fortement tertiaisée, où la finance tient une place importante, cette intrication entre l'interne et l'externe est au Luxembourg sans doute encore plus forte qu'ailleurs.

Deuxième temps de la démarche entreprise, l'élaboration de ce qui est ici appelé Vision propose une voie pour orienter l'économie et structurer les stratégies de façon cohérente en répondant aux enjeux de long terme. Cette Vision n'est pas une planification, mais une proposition d'alignement des acteurs dans une même direction qui permette de se donner un cap sur le temps long.

Certains critiques pourront arguer des situations de fortes incertitudes dans lesquelles nous évoluons pour interroger l'utilité d'une telle tentative de réflexion et d'orientation à long terme. Ici, il faut rappeler que la prospective ne cherche pas à prédire l'avenir mais bien à discerner ce qui peut en être dit (ne faisons pas l'autruche face aux défis environnementaux notamment), ce qui est fondamentalement incertain mais sur lequel il est possible de construire des conjectures, et ce qui reste et restera imprévisible. La démarche doit nous conduire à prendre en charge des évolutions à venir déjà inscrites dans le présent, mais aussi à construire des stratégies résilientes, robustes dans des contextes futurs qui peuvent être variés (et décrits le plus souvent dans des scénarios).

La prospective exploratoire se construit dans un processus de réflexion intellectuelle qui peut donner lieu à des controverses entre experts. La vision qui en est issue est d'un autre registre. Elle incarne les grandes orientations souhaitées par les acteurs qui ont été impliqués dans son élaboration. Plus l'élaboration de cette vision aura été inscrite dans un processus prospectif rigoureux et inclusif, plus la vision sera robuste et partagée. Progressivement, en travaillant ensemble sur les futurs à moyen et long terme, les acteurs se construisent une culture partagée des grands enjeux, terreau d'une possible volonté commune de relever ces défis. Mais, même si elle résulte d'une démarche très participative, la vision ne peut que très rarement prétendre être consensuelle. Son succès sera de constituer un référent pour des débats démocratiques que se structureront grâce à elle sur les enjeux majeurs pour l'avenir.

François de Jouvenel,
Délégué général de l'association Futuribles
International

Table des matières

Liste des illustrations	12
Liste des abréviations	14
Résumé exécutif	16

I. La méthode

1. La méthode prospective au service de l'économie	20
2. Le processus prospectif 2022-2023 mené par Luxembourg Stratégie	21
3. Les cadres bio-physique et socio-économique de la Vision ECO2050	25
4. Le lien entre la Vision stratégique ECO2050 et l'étude stratégique TIR2050	37
5. La Vision ECO2050 : une réponse sans regret aux trois scénarios d'avenir économique possibles	39
6. Les prochaines étapes : utiliser la prospective pour renforcer la cohérence et la robustesse stratégiques	43

II. La Vision ECO2050

1. Améliorer l'autonomie stratégique ouverte pour renouveler la production nationale	54
A. Evaluer et hiérarchiser le potentiel d'autonomie stratégique ouverte	56
B. Préserver la base biophysique pour produire plus localement	57
C. Accélérer les transitions des secteurs productifs intenses en ressources vers des régimes plus sobres	62
D. Sécuriser et diversifier l'approvisionnement élémentaire	63
2. Déployer la circularité et la sobriété à toute l'économie	66
A. Accélérer et généraliser la mise en œuvre des stratégies circulaires existantes	69
B. Réduire l'empreinte foncière et matérielle de l'économie en économisant, densifiant et recyclant	71



C. Développer et structurer les filières circulaires, innover et substituer les matières	73	C. Adapter la santé aux nouveaux défis, opportunité d'affaires et création de bien commun	124
3. Placer l'humain, les savoirs et le bien-être au cœur de l'économie (innovation sociale, sociétale et organisationnelle).	76	8. Intégrer les nouveaux défis à la diplomatie économique	128
A. Bâtir la nouvelle génération de main-d'œuvre apte à mener les transitions.	78	9. Assurer des finances publiques soutenables et solides	134
B. Combiner les savoirs anciens et nouveaux, les compétences <i>high-</i> et <i>low-tech</i> , la culture scientifique et le multilinguisme	80	10. Tourner l'anticipation en avantage économique comparatif	140
C. Promouvoir de nouveaux modèles d'affaires et de management (innovation organisationnelle).	82	III. Les scénarios	
4. Concilier les transitions digitale, écologique et sociale.	86	1. Les scénarios construits à partir des mégatendances et des bifurcations	148
A. La digitalisation responsable – réduire son empreinte écologique et privilégier des usages vertueux	88	2. Les scénarios en bref	149
B. La digitalisation responsable – renforcer la société, réduire les coûts, consolider la démocratie.	91	3. Les scénarios comparés et déclinés thématiquement	152
C. La digitalisation responsable – assurer la souveraineté nationale	93	4. Les scénarios et les dilemmes associés	163
5. Investir dans la redondance critique, le stockage stratégique et les solutions dédoublées.	96	IV. Les annexes	
6. Simplifier les procédures, raccourcir les chemins et faciliter les transmissions	104	Annexe 1. Note méthodologique	168
A. Simplifier les procédures	105	Annexe 2. Cygne noir : « Reine rouge »	170
B. Raccourcir les chemins.	107	Annexe 3. Autres ensembles de scénarios comparables	172
C. Faciliter les transmissions	110	Annexe 4. Résultats de la campagne publique ECO2050	174
7. Diversifier l'économie en l'adaptant aux enjeux du futur	112	Annexe 5. Commentaires d'experts en prospective	175
A. Se spécialiser en industries et services carbone, opportunité d'affaires et création de bien commun.	116	Annexe 6. Participants au processus	179
B. Adapter l'alimentation aux nouveaux défis, opportunité d'affaires et création de bien commun	123	Annexe 7. Incidences territoriales potentielles de la Vision ECO2050	181
		Glossaire	183
		À propos de Luxembourg Stratégie	188
		Remerciements	188

Liste des illustrations



Figure 1.	Tableau d'alignement de consultations citoyennes relatives aux planifications nationales à long-terme	24
Figure 2.	Cadre du doughnut (générique) et celui des limites planétaires (dépassements effectifs par l'humanité)	26
Figure 3.	Évolution du taux de croissance du PIB global et de la population mondiale 1961-2022.....	27
Figure 4.	Évolution du différentiel de croissance PIB entre le Luxembourg et la zone euro	28
Figure 5.	Evolution de la croissance économique et de ses composantes entre 2020 et 2070	29
Figure 6.	Scénario de développement économique et démographique pour le Luxembourg à l'horizon 2050	30
Figure 7.	Une illustration parmi d'autres de la « Grande Accélération »	31
Figure 8.	<i>Threats to biodiversity prioritized following three criteria: their impact on biodiversity, the role of business in driving them and their disruptive potential for business.</i>	34
Figure 9.	Objectifs biophysiques internationaux et nationaux à horizon 2030 et 2050.....	38
Figure 10.	Les briques de la Vision et leurs origines dans chacun des scénarios ECO2050 ..	42
Figure 11.	Tableau d'alignement entre différentes planifications nationales à long-terme ..	46
Figure 12.	Cibles quantifiées des stratégies sectorielles adoptées au Luxembourg	47
Figure 13.	Autonomie stratégique comparée à la pyramide de Maslow, <i>EU Strategic Autonomy Monitor, 2022</i>	57
Figure 14.	Pourquoi le PDAT préconise de limiter l'artificialisation du sol.....	72
Figure 15.	<i>Maslow's pyramid of needs, revisited</i>	91
Figure 16.	Evolution de la structure de l'économie 1995-2022	114
Figure 17.	<i>Stand des globalen Marktvolumens für Umwelttechnik und Ressourcen-effizienz 2020 und geschätzte Entwicklung bis 2030 in Milliarden Euro.</i>	116
Figure 18.	Rapprochement des mesures d'adaptation et d'atténuation et contributions de la production et de la consommation à la lutte contre le dérèglement climatique.....	120
Figure 19.	Réduction des frais d'immatriculation pour navires « verts »	132
Figure 20.	Double matérialité	142
Figure 21.	Le champ des futurs possibles couvert par les scénarios ECO2050.....	149
Figure 22.	Utiliser les scénarios de manière exploratoire pour élaborer la Vision	169
Figure 23.	Gouvernance de Luxembourg Stratégie	179
Figure 24.	Participation dans le processus prospectif ECO2050.....	180

Liste des abréviations

ABBL	Association des Banques et Banquiers Luxembourg
AWG	<i>Age Working Group</i>
BAU	<i>Business As Usual</i>
BEI	Banque Européenne d'Investissement
CBAM	<i>Carbon Border Adjustment Mechanism</i>
CDA	Centres de Développement et d'Attraction
CdC	Chambre de Commerce
CDM	Chambre Des Métiers
CEO	<i>Chief Executive Officer</i>
CES	Conseil Économique et Social
ChD	Chambre des Députés
CIM	Consommation Intérieure de Matières
CNP	Conseil National de la Productivité
COP	<i>Conference Of the Parties</i>
CORSIA	<i>Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation</i>
CSDD	Conseil Supérieur pour un Développement Durable
CSL	Chambre des Salariés Luxembourg
CSRD	<i>Corporate Sustainability Reporting Directive</i>

DATer	Département de l'Aménagement du Territoire
ECMWF	<i>European Centre for Medium-range Weather Forecasts</i>
EEA	<i>European Environment Agency</i>
EPRS	<i>European Parliamentary Research Service</i>
EROI	<i>Energy Return On Energy Investment</i>
ESA	<i>European Space Agency</i>
ESPAS	<i>European Strategy and Policy Analysis System</i>
ETS	<i>Emissions Trading System</i>
EUROSTAT	Office Statistique de l'Union Européenne
EVs	<i>Electric Vehicles</i>
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
FEDIL	Fédérations des Industriels Luxembourgeois
FJD	Fédération des Jeunes Dirigeants
FNR	Fonds National de la Recherche
GDP	<i>Gross Domestic Product</i>
GES	Gaz à Effet de Serre
GIE	Groupement d'Intérêt Économique
GIEC	Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (IPCC)
HCPN	Haut-Commissariat à la Protection Nationale
HEC	École des Hautes Études Commerciales
HERA	<i>Health Emergency preparedness and Response Authority</i>
HPC	<i>High Performance Computers</i>
IA	Intelligence Artificielle
ICT	<i>Information & Communication Technologies</i>
IDH	Indice de Développement Humain
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IGSS	Inspection Générale de la Sécurité Sociale
ILNAS	Institut Luxembourgeois de la Normalisation, de l'Accréditation, de la Sécurité et qualité des produits et services
IMO	<i>International Maritime Organization</i>
IPBES	<i>Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services</i>

IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change (GIEC)</i>	PNDD	Plan National pour un Développement Durable
IPCEI	<i>Important Projects of Common European Interest</i>	PNEC	Plan National intégré en matière d’Energie et du Climat
IPP	Indice des Pressions Planétaires	PNPN	Plan National concernant la Protection de la Nature
JRC	<i>Joint Research Centre</i>	PNUD	Programme des Nations Unies pour le Développement
KBR	<i>Klima-Biergerrot</i>	PNUE	Programme des Nations Unies pour l’Environnement
KIS	<i>Knowledge-Intensive Services</i>	PSN	Plan Stratégique National
LFSCOE	<i>Levelized Full System Costs Of Electricity</i>	PV	Photovoltaïque
LISER	<i>Luxembourg Institute of Socio-Economic Research</i>	R&D	Recherche et Développement
MAVDR	Ministère de l’Agriculture, de la Viticulture et du Développement rural	RETEL	Réseau d’Étude sur le marché du Travail et de l’Emploi Luxembourg
ME	Ministère d’État	RSE	Responsabilité Sociale des Entreprises
MEA	Ministère de l’Énergie et de l’Aménagement du territoire	S1	Scénario 1 (somnambulisme socio-économique)
MECDD	Ministère de l’Environnement, du Climat et du Développement durable	S2	Scénario 2 (circularité bio-régionale)
MEGA	Ministère de l’Égalité entre les femmes et les hommes	S3	Scénario 3 (optimisme techno-digital)
MTEESS	Ministère du Travail, de l’Emploi et de l’Économie sociale et solidaire	SAF	<i>Sustainable Aviation Fuels</i>
MT	Mégatendance	SDG	<i>Sustainable Development Goals</i>
NGFS	<i>Network of central banks and supervisors for Greening the Financial System</i>	SIS	Société à Impact Social
NZIA	<i>Net Zero Industrial Act</i>	S&P	<i>Standard and Poor’s</i>
OAI	Ordre des Architectes et des Ingénieurs-Conseils	STATEC	Institut national de la statistique et des études économiques
ODC	Observatoire De la Compétitivité	STEM	<i>Science, Technology, Engineering and Mathematics</i>
ODD	Objectifs de Développement Durable	STEP	Station de Transfert d’Energie par Pompage-turbinage
OECD	<i>Organisation for Economic Co-operation and Development (OCDE)</i>	TEEB	<i>The Economics of Ecosystems and Biodiversity</i>
OMS	Organisation Mondiale de la Santé (WHO)	TIC	Technologies de l’Information et de la Communication
ONU	Organisation des Nations Unies	TIR	Troisième Révolution Industrielle
OPC	Observatoire scientifique de la Politique Climatique	UE	Union Européenne
OPSI	<i>Observatory of Public Sector Innovation</i>	UEL	Union des Entreprises du Luxembourg
PCDS	<i>Product Circularity Data Sheet</i>	WEF	<i>World Economic Forum</i>
PDAT	Programme Directeur d’Aménagement du Territoire	WEO	<i>World Energy Outlook</i>
PIB	Produit Intérieur Brut	WHO	<i>World Health Organization (OMS)</i>
PME	Petites et Moyennes Entreprises	ZAE	Zones d’Activités Économiques

Résumé exécutif

Renforcer la **résilience**, l'**inclusivité** et la **compétitivité** de l'économie du Grand-Duché à l'horizon 2050 est l'objectif assigné à Luxembourg Stratégie par le Ministre de l'Économie. Il faut anticiper l'avenir pour consolider cet objectif et embrasser pleinement les transitions économique, sociétale et environnementale qui lui font face. La pleine prise de conscience des risques et menaces que constituent – pour le modèle socio-économique et le tissu d'entreprises luxembourgeois – l'augmentation des inégalités, le ralentissement de la croissance relativement à la zone euro ou encore le franchissement de limites biogéochimiques (avec des répercussions complexes sur le climat, les écosystèmes, la biodiversité, la qualité et l'abondance des ressources primaires) apparaît comme le préliminaire nécessaire à l'identification et à la fondation de nouvelles opportunités entrepreneuriales à même de préserver la qualité de vie pour les générations futures et l'attractivité du pays dans son ensemble.

Suite au succès rencontré par l'étude stratégique TIR2050 initiée en 2015 sous l'égide de Jeremy Rifkin, le ministère de l'Économie a constitué Luxembourg Stratégie avec pour mission d'équiper sa politique d'outils de prospective stratégique. L'avenir étant fondamentalement incertain mais pas totalement imprévisible, cette approche propose de dégager, à partir d'un ensemble restreint de scénarios plausibles, une **vision prospective à la fois pertinente et robuste – quel que soit l'avenir réalisé**. L'enjeu concret de cette démarche rigoureuse et systémique est de faciliter aux entreprises leur prise de décision aujourd'hui, au diapason avec l'économie de demain, par le biais d'un ensemble de préconisations « sans regret », telles qu'identifiées collectivement avec un ensemble d'acteurs économiques.

La vision stratégique « ECO20250 – Pour une économie résiliente, inclusive et compétitive » (ci-après « la Vision », ou « la Vision ECO2050 ») qui découle de cet exercice constitue une boussole à même d'orienter les différentes stratégies économiques vers plus de cohérence. La Vision est construite sur 10 briques qui, ensemble, posent les fondements et constituent l'édifice d'une nouvelle économie. Mutuellement bénéfiques et réciproquement renforçantes, les dix briques suivantes structurent ladite Vision :

1. **Autonomie stratégique**, car stimuler la production nationale amoindrit la dépendance des importations et découple l'économie des chocs issus des marchés internationaux
2. **Circularité et sobriété**, car réaliser des économies d'énergie et de matières premières facilite le respect des contraintes environnementales et financières
3. **Focus sur l'humain, les savoirs et le bien-être**, car innover en matière sociétale et organisationnelle développe la création d'activités, attire les talents et préserve une haute qualité de vie
4. **Conciliation des transitions digitale, écologique et sociale**, car construire une économie compétitive qui maîtrise l'empreinte environnementale et sociétale de nouvelles technologies facilite le progrès social et écologique
5. **Redondance critique et stockage stratégique**, car dédoubler les solutions et constituer des réserves concernant les biens et services essentiels assure plus de résilience et d'adaptabilité à l'économie
6. **Simplification administrative**, car améliorer l'environnement des entrepreneurs, investisseurs et chercheurs par un allègement des procédures dynamise l'économie en la rendant plus agile
7. **Diversification de l'économie**, car adapter aux nouveaux défis les secteurs clé pour l'intérêt général renforce la préservation des biens communs et la capacité du tissu économique existant à tourner les transitions en opportunités d'affaires
8. **Diplomatie économique durable**, car forger des liens diplomatiques et commerciaux étroits avec des partenaires partageant les mêmes valeurs écologiques et sociales mutualise les forces et atouts pour renforcer la gouvernance globale des ressources
9. **Finances publiques soutenables et solides**, car se prémunir contre les déséquilibres budgétaires permet de financer les transitions et efforts vers une plus grande durabilité
10. **Anticipation et célérité**, car planifier à long terme, s'adapter sans cesse aux changements de plus en plus rapides et guetter les évolutions confère un avantage économique comparatif en désamorçant les menaces et renforçant les opportunités

Fort de son haut niveau de dynamisme, d'audace et d'agilité économique, le Luxembourg présente de nombreux atouts pour assumer un rôle moteur et exemplaire en matière d'innovation durable et sociale. Ce projet d'avenir appelle néanmoins une orientation des investissements vers des solutions technologiques et modèles socio-économiques toujours plus respectueux de l'environnement et de la biodiversité, adaptés au dérèglement climatique et à la raréfaction des ressources, sobres en énergie et en matières premières, et débouchant par la même occasion sur de nouvelles opportunités d'affaires dans les secteurs du transport, de la santé, du logement ou encore de l'agriculture. Alors que **l'innovation technologique** a été et restera un facteur clé du dynamisme et de l'attractivité de l'économie luxembourgeoise, il ressort de cette étude que le **changement comportemental** sera également nécessaire pour structurer et renforcer l'économie de demain – au même titre que les solutions *low tech* complèteront le *high tech*.

À l'occasion des transitions, l'**UE** est confrontée à l'opportunité de réindustrialiser et réinventer son modèle économique de manière à devenir moins intensive en carbone, moins énergivore, moins polluante, plus vertueuse et plus en phase avec ses valeurs et ses compétences. Les transitions nécessitent des investissements massifs. Pour pouvoir croître, la production et l'exportation de biens et services doivent réduire leurs impacts environnementaux. Dans le même élan, et bien que contraint par sa géographie et son sous-sol pauvre en ressources, le Grand-Duché fait le pari de devenir un pays d'innovateurs hors pair en matière de technologies, marchandises et services sobres en carbone. Grâce au progrès technique, l'industrie et l'artisanat luxembourgeois sont appelés à alimenter les transitions technologique et énergétique, et à exporter leurs solutions et modèles vertueux pour le climat. Adapter notre économie au changement climatique et décarboner progressivement les biens et services permet de nouvelles activités à haute valeur ajoutée, que ce soit dans le contexte des énergies renouvelables, des services climatiques, du recyclage ou de l'économie circulaire. Des circuits plus courts et moins exposés aux aléas géopolitiques verront émerger de nouveaux secteurs économiques productifs et de nouveaux modèles d'affaires, appuyés par les fruits de la recherche et de l'innovation.

L'enjeu est de taille. Selon la Vision, le pays devrait, d'ici 2050, réussir le tour de force collectif de mieux maîtriser ses ressources vitales : moins devrait être consommé et plus généré et stocké sur le territoire. Grâce à son inscription à l'échelle de la **Grande Région**, l'économie circulaire devrait permettre au pays de couvrir une bonne part de ses besoins essentiels sur place par des produits plus durables, réparables et robustes. Dans les agglomérations, la voiture personnelle et les embouteillages laisseraient la place à un réseau hors pair de transport collectif bas-carbone, étendu à la Grande Région. Une bureaucratie légère, des chemins courts et des services de proximité soutiendraient l'entrepreneuriat, la compétitivité et la résilience. Le centre financier serait reconnu mondialement pour ses placements durables et le **secteur spatial** pour sa participation au développement durable, sur Terre comme dans l'espace. **L'agriculture et la forêt** seraient préservées et la biodiversité se remettra, continuant à contribuer ainsi à la neutralité carbone et à la fourniture d'aliments et de matières premières. La **digitalisation et l'écologie** ne s'opposeraient pas mais seraient mutuellement bénéfiques. Les infrastructures seraient construites pour durer plus longtemps et la population serait à l'abri de dommages climatiques. L'état de santé serait amélioré, au point de faire du Luxembourg une *blue zone*, où la longévité et la qualité de vie seraient exceptionnellement élevées. Les relations sociales seraient saines et les inégalités faibles. L'économie ne serait plus fondée sur l'accumulation sans fin d'objets mais sur le développement individuel et des emplois épanouissants indispensables à la réussite des transitions. En acceptant de simplifier et de consommer différemment, des opportunités nouvelles s'ouvriraient à nous.

Cette transformation est un projet d'avenir dont il s'agit d'être acteur pour aussi en être pleinement bénéficiaire.

Le présent rapport vise, d'une part, à présenter l'exercice de prospective stratégique qui a été mené en concertation avec un certain nombre d'acteurs du monde économique, du grand public et d'experts afin d'en éclairer la démarche et d'en illustrer l'intérêt pour l'économie et pour le bien commun (Chapitre I) et, d'autre part, à détailler la nature de chacune des 10 briques évoquées brièvement ci-dessus et qui articulent la Vision ECO2050 (Chapitre II). Il récapitule les 3 scénarios sous-jacents à l'élaboration de la Vision ECO2050 (Chapitre III) et présente les éléments méthodologiques et de contexte en annexe (Chapitre IV).

I La méthode

II La vision

III Les scénarios

IV Les annexes

I. La méthode

1. La méthode prospective au service de l'économie20
2. Le processus prospectif 2022-2023 mené par Luxembourg Stratégie..... 21
3. Les cadres bio-physique et socio-économique de la Vision ECO2050.25
4. Le lien entre la Vision stratégique ECO2050 et l'étude stratégique TIR2050.37
5. La Vision ECO2050 : une réponse sans regret aux trois scénarios d'avenir économique possibles39
6. Les prochaines étapes : utiliser la prospective pour renforcer la cohérence et la robustesse stratégiques43

1. La méthode prospective au service de l'économie

Se projeter dans l'avenir est un acte fondamentalement optimiste.

Se projeter dans l'avenir en se basant sur ce qui est faisable sur les plans biophysique et socio-économique est un acte d'**optimisme réaliste**.

Selon l'Organisation de Coopération et de Développement Économiques (OCDE) et l'*Observatory of Public Sector Innovation* (OPSI), la **prospective stratégique** est l'habileté d'une organisation à percevoir, donner du sens et agir face aux différents futurs émergents. Elle contribue à alerter de manière précoce face à des disruptions potentielles, à envisager différents futurs possibles, à construire de la résilience face aux perturbations, à rendre des plans et stratégies résistants à l'épreuve de l'avenir, et à construire un langage commun et une vision partagée du succès. En observant les mégatendances¹, en défiant les hypothèses et les modèles de pensée en place, en ancrant les décisions dans la science et l'interdisciplinarité², en dépassant le court-termisme, la prospective stratégique provoque une nouvelle façon de voir le progrès et de gérer les affaires. Il n'appartient pas à la prospective de décider entre différentes valeurs mais de les révéler.

Contrairement aux prédictions et projections, la prospective ne projette pas l'avenir de manière linéaire. Elle tente de tenir compte de la complexité et de l'incertitude grandissantes en dessinant plusieurs **scénarios possibles et plausibles** (voir aussi Annexe 1) et en tenant compte d'une multitude de points de vue et de variables. Certaines questions évoluent rapidement, voire accélèrent, et peuvent atteindre des points de basculement après lesquels il est trop tard pour agir.

La **prospective stratégique a des limites**. Elle ne prédit pas l'avenir, ne résout pas les problèmes, ne prévient pas la prochaine crise, ne produit pas elle-même de stratégie et ne garantit pas son succès. Elle est un complément instructif et non pas le fondement sans appel de la prise de décision. Elle est longue et itérative à installer dans les mœurs et dans les pratiques. Elle peut faire face à des attentes irréalistes à son égard, ou voir ses résultats sous-utilisés.³ Ses bénéfices, qui ne visent pas l'action opérationnelle immédiate, sont indirects et souvent difficilement attribuables à l'effort prospectif. Ses travaux peuvent générer des prises de conscience inconfortables, contre-intuitives, critiques ou à contrepied des attentes et des agendas, ou qui défient les façons convenues de voir et de travailler.

La prospective est-elle scientifique ? Dans la limite où il n'existe pas de données sur l'avenir, la prospective n'est pas une science de l'avenir. Les scénarios ne sont pas scientifiques dans le sens où nous n'avons pas – et n'aurons jamais – les données de l'avenir.⁴ "Through purposing, exploring, identifying implications, and taking strategic action, scenarios help us learn from the future to reframe and re-perceive our understanding of the present".⁵

Par contre, en s'orientant aux travaux scientifiques et académiques des organisations dédiées (p.ex. Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC), *Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services* (IPBES), OCDE, *International Energy Agency* (IEA), *Joint Research Centre* (JRC)), en multipliant et triangulant les sources de publications scientifiques et de recherches académiques, en générant elle-même des études et enquêtes scientifiques, en

1 Une mégatendance est une force motrice à long terme qui est observable aujourd'hui et qui continuera d'avoir un impact mondial dans les années à venir. Typiquement, les mégatendances couvrent un horizon de 10 à 20 ans. Cependant, leur analyse est utilisée pour informer la planification stratégique moyen et long terme sur les 5 à 50 prochaines années. Voir OPSI (2023), *Towards a strategic foresight system in Ireland*. & European Commission (2022), *Megatrend Hub*, Competence Center on Foresight. Luxembourg Stratégie, dans ses travaux préliminaires, catégorise 12 mégatendances pertinentes pour le Luxembourg, Luxembourg Stratégie (2022), *Tableaux prospectifs*, Ministère de l'Économie.

2 European Commission (2023), *Supporting policy with scientific evidence*, Competence Center on Foresight

3 Tel était p.ex. le cas avec les nombreuses publications prospectives d'avant 2008 alertant sur l'imminence d'une crise financière, ou celles d'avant 2016 sur une montée des populismes, ou celles, d'avant 2019, sur la possibilité d'une pandémie nous venant du règne animal. OPSI (2023), *Towards a strategic foresight system in Ireland*.

4 Jan E. Karlsen & Hanne Karlsen (2012), *Classification of tools and approaches applicable in foresight studies*. In: Giaoutzi & Sapiro (Eds.), *Recent developments in foresight methodologies*. New York

5 OECD (2020), *Back to the Future of Education: Four OECD Scenarios for Schooling*

organisant des exercices d'intelligence collective, en recourant aux tests de plausibilité et aux avis d'experts, en travaillant de manière rigoureuse, pluridisciplinaire, collaborative et fondée sur des faits, **la prospective fait un travail scientifique**.⁶

La prospective cherche à bousculer nos a priori, lancer un débat et prendre de meilleures décisions. Il s'agit de tirer des leçons des futurs imaginés pour entamer un dialogue sur la stratégie à mettre en place pour construire l'avenir. Quelles innovations, technologies, filières, compétences face aux incertitudes sont révélées par les scénarios ? Pour que la prospective ait une plus-value, il faut préserver sa fonction de défier les valeurs et modèles mentaux en place et d'interroger « le sens commun d'inévitabilité ».⁷

2. Le processus prospectif 2022-2023 mené par Luxembourg Stratégie

Fort de l'expérience en études prospectives acquise au cours de l'initiative Troisième Révolution Industrielle (TIR), le ministère de l'Économie a constitué Luxembourg Stratégie en 2021, avec pour mission de concevoir des scénarios d'avenir économique à l'horizon 2050, puis d'utiliser cette base prospective pour dériver une vision stratégique économique robuste face à tous ces futurs économiques possibles et plausibles.

En établissant Luxembourg Stratégie, le Ministre de l'Économie a demandé que cette vision réponde à l'objectif de stimuler une économie **résiliente, inclusive et compétitive** à l'horizon 2050.

La **résilience** est la capacité de résister, se régénérer et se transformer suite à un choc afin de mieux gérer les disruptions à venir.⁸ En un sens établi, elle désigne la capacité d'un système (socioéconomique ou biophysique) à gérer des perturbations en préservant ses structures et fonctions tout en apprenant et en se transformant. Une économie **inclusive**, selon l'OCDE, implique une distribution équitable des bénéfices à travers la société et la création d'opportunités pour tous. Pour les entreprises, l'inclusivité signifierait maximiser l'impact social autant que les performances économiques.⁹ Au Luxembourg, la **compétitivité** est conçue dans un sens plus large que celui de « l'augmentation de la productivité en comparaison aux principaux partenaires commerciaux dans une économie de marché ouverte ».¹⁰ Ainsi, le Conseil Économique et Social (CES) met l'accent sur d'autres dimensions et définit la compétitivité comme « la capacité d'une nation à améliorer durablement le niveau de vie de ses habitants et à leur procurer un haut niveau d'emploi et de cohésion sociale tout en préservant l'environnement ».¹¹

6 Voir la conférence ChD & FNR (2023), [Megatrends – shaping the future with scientific foresight](#)

7 Martin Müller, Executive Director Science Anticipator, Geneva Science and Diplomacy Anticipator, intervenant à la Conférence Megatrends, Cellule scientifique, ChD & FNR, Luxembourg, mai 2023

8 "Economic aspects of sustainability understood as managing the transformation of the economy to ensure it remains within the planetary boundaries, while being globally competitive and resilient", European Commission (2023), [Strategic Foresight Report 2023](#)
Dans le domaine de la gestion des risques, la résilience est définie comme "die Fähigkeit eines Systems, einer Gemeinschaft oder Gesellschaft, die potenziell Gefahren ausgesetzt ist, sich anzupassen, indem sie Widerstand leistet oder sich verändert, um ein akzeptables Funktions- und Strukturniveau zu erreichen und aufrechtzuerhalten. Dies wird durch den Grad bestimmt, in dem das Sozialsystem in der Lage ist, sich selbst zu organisieren, um diese Fähigkeit zu erhöhen, aus vergangenen Katastrophen für einen besseren Schutz in der Zukunft zu lernen und die Maßnahmen zur Risikominderung zu verbessern" (UN/ISDR, 2005), cité par MECDD (2023), [Plan de gestion des risques d'inondation 2021-2027](#)

9 HEC Paris (2020), [Inclusive business. What it is and why it matters](#). Society & Organizations. La stratégie Europe 2020 a introduit un nouvel objectif commun pour la croissance inclusive : réduire de 25% le nombre d'Européens vivant au-dessous du seuil national de pauvreté et sortir plus de 20 mio de personnes de la pauvreté d'ici à 2020. Cet objectif n'ayant pas été atteint, la Commission a introduit, en mars 2021, un nouvel objectif global dans le plan d'action sur le socle européen des droits sociaux : réduire d'au moins 15 mio le nombre de personnes en proie à la pauvreté d'ici à 2030. European Commission (2021) [The European Pillar of Social Rights Action Plan/ ODC \(2021\), Bilan Compétitivité et Résilience](#). Ministère de l'Économie, p.75

10 Commission européenne (1998) : « un pays est compétitif à l'échelon international s'il remplit l'ensemble des critères suivants: sa productivité augmente à un rythme similaire ou supérieur à celui de ses principaux partenaires commerciaux ayant un niveau de développement comparable; il parvient à maintenir un équilibre extérieur dans le cadre d'une économie de marché ouverte; il connaît un niveau d'emploi élevé. » cité par l'ODC (2020), [Historique](#). Ministère de l'Économie

11 Ibid.

Pour répondre à sa mission, Luxembourg Stratégie a mis en place un processus prospectif collaboratif faisant appel à un réseau interministériel, avec le concours d'un cabinet d'experts en *scenario planning* collaboratif.¹² La méthode est la même que celle employée par la Commission européenne pour concevoir sa politique d'autonomie stratégique ouverte, basée sur des scénarios élaborés préalablement par son JRC.¹³

Les travaux de conception des scénarios et de la Vision ont eu lieu au sein d'un groupe de travail technique représentant une diversité d'intérêts nationaux. Ils ont été pilotés par un comité interministériel. À cela se sont ajoutées les contributions d'un cercle de dirigeants d'entreprises, d'un groupe de communes et d'un comité d'experts nationaux en prospective (voir Annexe 6).

Démarrés début 2022, les travaux prospectifs ont été structurés en 4 étapes:

- **Take stock** : inventorier les stratégies sectorielles et les scénarios déjà existants pour le Luxembourg, ainsi que les forces et faiblesses existantes de l'économie du pays, tel que son caractère européen, innovant ou agile
- **Zoom in** : identifier et analyser les mégatendances, facteurs de changements et bifurcations pertinents pour le Luxembourg
- **Zoom out** : concevoir des scénarios de futurs alternatifs pour répondre à l'incertitude
- **Take position** : se donner une vision pour atteindre le futur souhaité

Un an plus tard, trois scénarios¹⁴ et une vision stratégique économique, vision dénommée ECO2050, sont délivrés :

- Scénario 1 (S1) : **Somnambule socio-économique**. Le statu quo et la permanence des transitions
- Scénario 2 (S2) : **Circularite bio-regionale**. La simplification et le ralentissement économique
- Scénario 3 (S3) : **Optimisme techno-digital**. L'accélération technologique sans changement comportemental

Les scénarios sont présentés en détail au Chapitre III et à l'Annexe 1 de ce rapport. Les **scénarios** sont fictifs et de nature souvent inconfortable. Ils ont vocation à être révélateurs de nos valeurs et à faire des hypothèses explicites sur l'avenir.¹⁵

« Même si certains scénarios ne sont ni désirables ni souhaités, les risques qu'ils présentent sont plausibles et indépendants des choix stratégiques à faire. Tous les scénarios doivent donc être envisagés afin de parer à l'ensemble des éventualités au cours de la transition vers une économie plus résiliente. »

Ministre de l'Économie Franz Fayot,
Assemblée Générale Fédérations des Industriels Luxembourgeois (FEDIL) (16 mars 2023)

La typologie des trois scénarios de Luxembourg Stratégie est similaire aux nombreux autres scénarios développés au niveau international (voir annexe 3). Bien que la méthode soit différente, les trois scénarios ECO2050 s'alignent aussi à ceux développés récemment par la Fondation IDEA en février 2023.¹⁶ La Fondation IDEA se base sur un travail d'experts et de revue de la littérature,

¹² 4Sing, Foresight to Strategy for Security and Sustainability in Governance

¹³ European Commission (2021), EU's open strategic autonomy by 2040 and beyond.

→ Scenario 1: Green leadership

→ Scenario 2: Complex prosperity

→ Scenario 3: Economic growth above all

→ Scenario 4: Retreat inwards

Voir aussi European Parliament (2022), EU Strategic Autonomy Monitor

¹⁴ Luxembourg Stratégie (2022), Les scénarios d'avenir pour l'économie luxembourgeoise en 2050. Ministère de l'Économie.

¹⁵ Ian Miles et al. (2016), Foresight for science, technology and innovation. Springer International Publishing Switzerland.

¹⁶ Il s'agit des 3 scénarios de la Fondation IDEA suivants :

→ Le scénario au fil de l'eau (PIB 2.8%/an)

→ Le scénario de recul du niveau relatif de richesse vers celui constaté avant le décollage de la place financière (scénario A)

→ Le scénario d'une accélération des gains de productivité apparente du travail (scénario B)

Une vision territoriale pour le Luxembourg à long terme, Fondation IDEA (2023), Une vision territoriale pour le Luxembourg à long terme. Fir eng kohärent Entwicklung vum Land.

et effectue ses propres calculs. Les scénarios prospectifs de Luxembourg Stratégie constituent des récits de futurs possibles co-construits entre non-experts et sans effectuer des projections quantifiées ou simulations.

Les **scénarios**, hors de notre contrôle, ne sont pas des stratégies (voir aussi Annexe 1). Les scénarios ECO2050 reposent sur une interaction entre imaginaires collectifs, choix politiques et tendances externes. Une **stratégie** par contre définit des actions sous notre contrôle, que nous décidons d'entreprendre et auxquelles nous allouons des moyens. Une stratégie n'est pas une **vision** stratégique. Une vision dessine l'avenir souhaité. Une vision stratégique rassemble des réflexions stratégiques sur les réponses que l'on peut envisager aux différents scénarios d'avenir. En raison des nombreuses mégatendances, ruptures et aléas possibles, rien ne garantit que des scénarios se réalisent, comme rien n'empêche qu'un scénario ou une combinaison de scénarios se réalisent, d'où la nécessité d'avoir une vision qui soit robuste quel que soit le scénario (pour toutes les notions relevant de la prospective, un glossaire est disponible).

Scénario ≠ Stratégie ≠ Vision



SCÉNARIO – DÉFINITION :

- Les scénarios, au pluriel, concernent l'évolution possible de facteurs hors de notre contrôle
- Les scénarios, imaginaires, ne décrivent pas une situation future désirable et ne sont pas des manifestes politiques
- Les scénarios rassemblent des hypothèses sur la façon dont le monde et le Luxembourg pourraient évoluer d'ici 2050

STRATÉGIE – DÉFINITION :

- Une stratégie définit des actions sous notre contrôle, que nous décidons d'entreprendre face à ces différents futurs possibles
- Une stratégie est opérationnelle, vise le court ou moyen-terme, est pourvue de moyens pour sa mise en œuvre et d'un cadre de monitoring
- Une stratégie est robuste si elle reste pertinente quel que soit le futur

VISION – DÉFINITION :

- Une vision, imaginaire, décrit un avenir long-terme tel qu'il pourrait être, en anticipation de la somme des scénarios
- Une vision elle-même n'a pas de volet opérationnel (plan d'actions, ressources humaines et financières, indicateurs, etc.), mais peut être déclinée en stratégies
- Une vision est robuste si elle reste pertinente quel que soit le futur

Après avoir consulté le grand public au sujet des scénarios et de leur vision souhaitée de l'avenir économique par le biais d'une enquête en ligne (déc. 2022 – janv. 2023, les résultats sont présentés en Annexe 4), une ébauche de vision stratégique économique à horizon 2050 a été élaborée. Elle visait à permettre de saisir les opportunités et d'éviter ou d'atténuer les menaces révélées dans les trois scénarios d'avenir plausible.

CONSULTATIONS CITOYENNES

BRIQUES ECO2050	CAMPAGNE PUBLIQUE (ECO2050) (Annexe 4), (12.2022-01. 2023) ¹⁷	KLIMABIERGER-ROT (PNEC) (2022) ¹⁸	BIERGER-KOMMITTEE ¹⁹ & SONDAGES ILRES (PDAT) (2020, 2021) ²⁰
1 Améliorer l'autonomie stratégique ouverte pour renouveler la production nationale	→ Sobriété → dépendance énergétique ↘ → besoin en énergie ↘ → Production locale	→ Sobriété → Obsolescence programmée → Obligation "PV ready" pour bâtiments industriels	
2 Déployer la circularité et la sobriété à toute l'économie	→ Sobriété énergétique → Circularité bio-régionale	→ Sobriété → Circularité → Ramener les surconsommations matérielles per capita dans la moyenne européenne	→ Consommation de sols ↘ → Sobriété foncière → Surface d'habitation ↘ → PAG sans élargissement des surfaces constructibles → Usage multifonctionnel des bâtiments, mixité verticale et densification en ville
3 Placer l'humain, les savoirs et le bien-être au cœur de l'économie	→ Compétences de l'avenir (techniques & interpersonnelles) → Education sur le dvpt durable → Engagement des citoyens	→ Encadrement publicités → Changement comportemental → Espace de <i>coworking</i> → Service volontaire de réhabilitation environnementale	→ Habitat intergénérationnel
4 Concilier les transitions digitale, écologique et sociale	→ Meilleure gouvernance des matériaux vitaux		
5 Investir dans la redondance critique, le stockage stratégique et les solutions dédoublées		→ Stockage énergie → Redondance programmée → "Duebel-strosseschkeet"	
6 Simplifier les procédures, raccourcir les chemins, faciliter les transmissions	→ Simplification sociale & territoriale	→ Ville de 15 minutes → Harmonisation des règles communales d'urbanisme → Marché public durable → Transport bas-carbone, léger et collectif → Télétravail	→ Ville de 15 minutes : espaces verts, transports en commun, commerces, soins et services de proximité ; parking ; quartier sans voiture → Évaluation de l'impact de la construction sur le sol → Centre commercial de taille plus réduite en zone urbaine accessible par transport public et mobilité douce
7 Diversifier l'économie en l'adaptant aux enjeux du futur	→ Métiers de l'avenir (Ingénierie, TIC, santé, artisanat)	→ Infrastructures vertes → Programme populaire de réhabilitation environnementale	
8 Intégrer les nouveaux défis à la diplomatie économique	→ Meilleure gouvernance des matériaux vitaux → Promouvoir le Luxembourg	→ <i>Green shipping</i>	
9 Assurer des finances publiques soutenables et solides	→ Importance de la place financière → Promouvoir l'innovation financière → Investir pour préparer l'avenir	→ Taxation véhicules polluants	→ Taxation des propriétés vides et parcelles constructibles non-construites → Taxation des terrains constructibles vacants
10 Tourner l'anticipation en avantage économique comparatif	→ Anticipation, adaptation & flexibilité face aux défis futurs		

Figure 1. Tableau d'alignement de consultations citoyennes relatives aux planifications nationales à long-terme

¹⁷ Luxembourg Stratégie (2023), *Résultats de la campagne publique ECO2050*. Ministère de l'Économie

¹⁸ Le PNEC désigne le Plan National intégré en matière d'Énergie et de Climat, ME (2022), *Klima-Biergerrot: Rapport final*

¹⁹ MEA (2023), *Biergerkomitee Lëtzebuerg 2050*, nos recommandations au monde politique

²⁰ Le PDAT désigne le Programme Directeur d'Aménagement du Territoire. DATer (2023) Les réponses des résidents confirment les objectifs du projet de PDAT2023 : 8 sur 10 en faveur d'une limitation de la consommation du sol, 89% pour une évaluation de l'impact sur le sol des futurs projets de construction, les espaces verts en ville sont indispensables pour 97%, Communiqué du 07.02.23.

À partir de début 2023, des présentations de l'ébauche de vision (tableau ci-contre) ont été données auprès d'un groupe de chefs d'entreprises (CEO), de la Chambre des Salariés (CSL), de l'Union des Entreprises du Luxembourg (UEL), de la Chambre de Commerce (CdC), de la Chambre des Métiers (CDM), de la Fédération des jeunes dirigeants (FJD), d'une délégation de communes. Cette ébauche a aussi fait l'objet de trois présentations devant la *Commission de l'Économie, de la Protection des consommateurs et de l'Espace* de la Chambre des Députés, lors de la Conférence « Mégatendances et prospective politique » co-organisée par la Cellule scientifique de la Chambre des Députés (ChD) et le Fonds National de la Recherche (FNR) en mai 2023 et devant le groupe de travail « transition énergétique » du CES en juillet 2023.

Au niveau international, l'ébauche a fait l'objet d'échanges avec la *Strategic Foresight Unit* et sa *Global Foresight Community* ainsi que l'OPSI de l'OCDE, le *Foresight Network* de la Commission européenne et le *European Strategy and Policy Analysis System* (ESPAS) hébergé au Parlement européen.

L'ébauche ainsi enrichie a été présentée et discutée une première fois publiquement en juin 2023 lors d'une conférence à Esch Belval.²¹ Les consultations se sont ensuite poursuivies pour aboutir à une version finale de la Vision ECO2050 qui tient compte des orientations du Comité interministériel et des nombreux commentaires reçus de la part d'acteurs économiques et institutionnels. La version finale de la Vision que vous avez entre les mains est disponible depuis septembre 2023.

Le processus prospectif a donc atteint son but : livrer des scénarios d'avenir et une Vision stratégique associée. Mener un tel processus prospectif a aussi un mérite propre. Au-delà de l'élaboration de scénarios et d'une Vision, il constitue un résultat en soi et est formateur puisqu'une nouvelle façon anticipative de conception stratégique et d'apprentissage collectif a été déployée au sein de l'administration publique.

3. Les cadres bio-physique et socio-économique du processus ECO2050

Il est plus facile de faire des stratégies et plans économiques en temps d'abondance et de coûts bas, qu'en temps de raréfaction et de renchérissement des facteurs de production. Les mégatendances et publications indiquent que nous sommes entrés dans l'âge de la fin de l'abondance bon marché des énergies fossiles, base de notre civilisation actuelle, et des ressources naturelles non-renouvelables.²² Le consensus scientifique souligne que le modèle de développement économique actuel contribue à épuiser les ressources de la planète et qu'en mettant ainsi en péril son habitat, l'espèce humaine augmente les risques existentiels auxquels elle fait face.²³ La détérioration du contexte environnemental et climatique risque de provoquer des dommages physiques et contraintes matérielles supplémentaires, dont la gestion et la réparation pèseront sur les budgets publics. Ces aspects sont en général sous-estimés dans les projections macro-économiques à long terme (voir budget de l'inaction climatique, Brique 9).

²¹ Voir le site de [Luxembourg Stratégie](#)

²² Aggravating resource scarcity is one of the 14 megatrends observed by the European Commission. See European Commission (2023), [Supporting policy with scientific evidence](#), Competence Centre on foresight. In 2010, the International Energy Agency's (IEA's) annual World Energy Outlook (WEO) speculated that the global peak of conventional crude-oil production had taken place in 2006, when 70 mio barrels were produced per day. This forecast was revised to the year 2025 in WEO 2022. See also Richard Heinberg (2007), [Peak Everything](#).

²³ IPBES-IPCC (2021), [Co-sponsored workshop report on biodiversity and climate change](#), IPCC (2022), [Climate change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability](#). Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. "We are destabilizing the planetary systems we rely on for survival", voir Pedro Conceição (2021), [The next frontier: Human development and the Anthropocene](#), présentation du Programme des Nations unies pour le développement (UNDP) à la [conférence Luxembourg Stratégie](#) du 15.11.21

Différents cadres d'analyse existent et les études macro-économiques menées au Luxembourg sont nombreuses et riches. La Vision ECO2050 propose une lecture bio-physique et socio-économique complémentaire pour l'économie luxembourgeoise. Elle s'appuie pour cela sur le concept des limites planétaires développé depuis 2009²⁴ couplé à celui des besoins sociaux essentiels, concrétisé depuis 2017 pour donner le cadre du *doughnut* des limites planétaires et des fondations sociales (Figure 2).

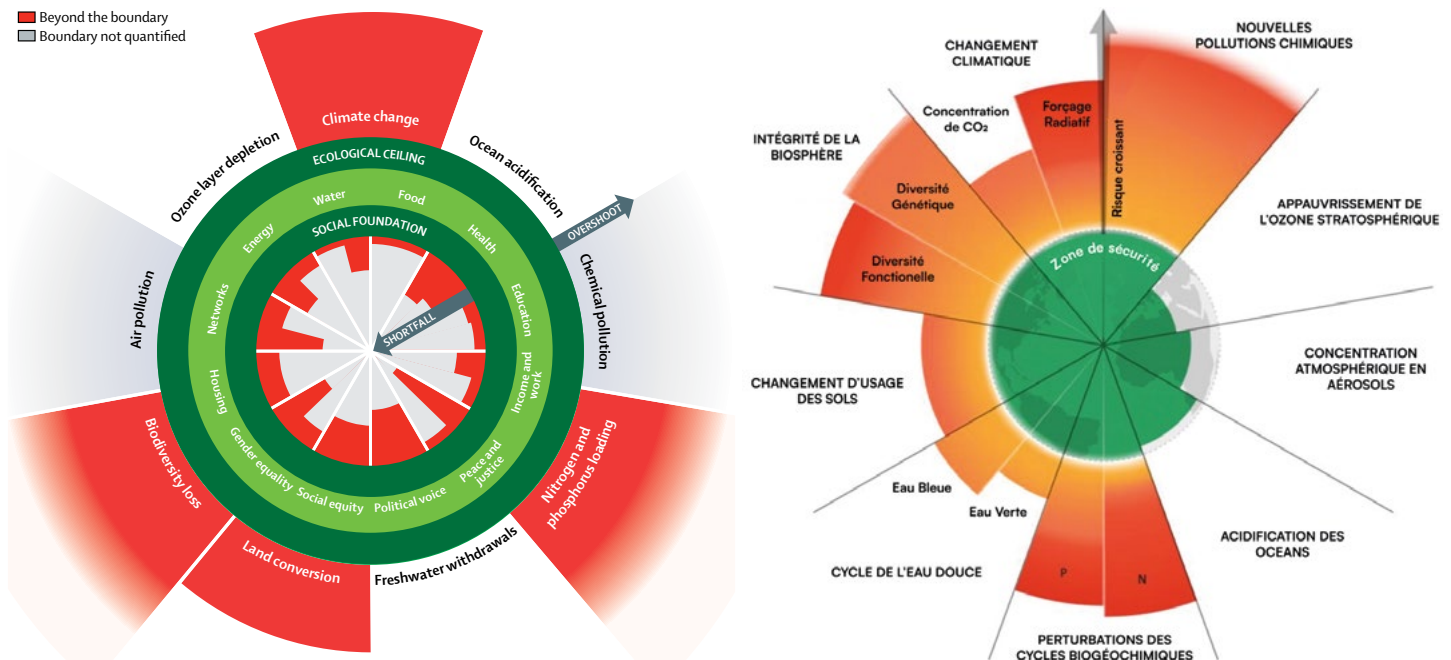


Figure 2. Le cadre du *doughnut* (générique, à gauche) et celui des limites planétaires (dépassements effectifs par l'humanité, à droite) (avril 2022)²⁵

Parmi les cadres d'analyse qui peuvent enrichir la compréhension de la résilience et les manières de la renforcer,²⁶ le cadre du *doughnut* est l'un des plus équilibrés et des plus détaillés. Il montre graphiquement des liens entre différents indicateurs socio-économiques et bio-physiques. Il paraît donc pouvoir guider efficacement la décision stratégique. Il est le cadre qui a été choisi pour élaborer la Vision ECO2050.

Globalement une baisse de **retours sur investissements** peut être observée dans de nombreux domaines : technologies,²⁷ *Information & Communication Technologies* (ICT),²⁸ énergie,²⁹ minerais,³⁰

24 Johan Rockström et al. (2009), *Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity*, Ecology and Society 14, no. 2. Will Steffen et al. (2015) *Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet*, Science

25 L'élaboration d'un portrait *doughnut* du Luxembourg est en cours et au cœur d'échanges entre le Conseil Supérieur pour un Développement Durable (CSDD), le Luxembourg Institute of Science & Technology (LIST) et Luxembourg Stratégie. Le cadre du *doughnut* (Kate Raworth (2017), *A Doughnut for the Anthropocene: humanity's compass in the 21st century*, The Lancet Planetary Health, 1(2), pp. e48-e49 intègre les recherches du Potsdam Institute for Climate Impact Research et du Stockholm Resilience Center qui estiment qu'en 2023 l'humanité a dépassé 7 des 9 limites planétaires (dont 8 quantifiées). (Johan Rockström et al. (2023), *Safe and just Earth system boundaries*, Nature, 619(7968), pp. 102-111). Voir aussi Andrew Fanning (2022), *The Doughnut Framework in Economics and its Application to the Case of Luxembourg*, présentation du Doughnut Economic Action Lab à la conférence Luxembourg Stratégie du 17.10.22. Stockholm Resilience Centre (2023), *All planetary boundaries mapped out for the first time, six of nine crossed*, avec traduction en français par Bon Pote (2023)

26 On pourra notamment se référer à l'Indice de Développement Humain (IDH) ajusté à l'Indice des Pressions Planétaires (IPP) du Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD), aux Objectifs du Développement Durable (ODD) de l'Organisation des Nations Unies (ONU), aux EU Resilience dashboards et au Transitions performance index de la Commission Européenne, au Better life Index de l'OCDE ou d'autres ensembles d'indicateurs issus de diverses initiatives (Happy Planet Index, Biodiversity Performance Index, Sustainable Development Performance Indicators etc.).

27 « Les avancées technologiques post-Internet semblent avoir de moindres impacts économiques que celles des révolutions technologiques précédentes », Fondation IDEA (2023), *Grands Défis*, p.33 citant Robert J. Gordon (2015), *Secular Stagnation: A Supply-Side View*. American Economic Review, 105 (5): 54-59.

28 La haute productivité due à l'ICT boom a ralenti depuis 2010, selon Robert J. Gordon (2012), *Is US Economic Growth Over? Faltering Innovation Confronts the Six Headwinds*, Working Paper 18315. National Bureau of Economic Research.

29 Inigo Capellán-Pérez et al. (2019), *Dynamic Energy Return on Energy Investment (EROI) and material requirements in scenarios of global transition to renewable energies*; Jessica G. Lambert et al. (2014), *Energy, EROI and quality of life*, Energy Policy 64

30 IIER (2016a), *What made us so rich in 250 years?* & IIER (2016b), *How energy and natural resources limits inhibit economic growth?*

innovation,³¹ éducation,³² agriculture,³³ etc. Selon Tainter, plus les sociétés se complexifient, plus le maintien de cette complexité nécessite de l'énergie et réduit le retour marginal sur l'investissement dans la complexité, ce qui crée de la vulnérabilité sociale.³⁴

L'atteinte des objectifs du développement durable pour tous s'éloigne de plus en plus, alors que leur faisabilité cumulée dans le respect des limites planétaires est mise en doute.³⁵ À l'échelle mondiale, la croissance économique et démographique ralentit,³⁶ les déficits des budgets d'État augmentent³⁷ et les inégalités de revenus³⁸ ou d'empreintes carbone sont considérables.³⁹ La Figure 3 illustre l'évolution internationale et nationale.

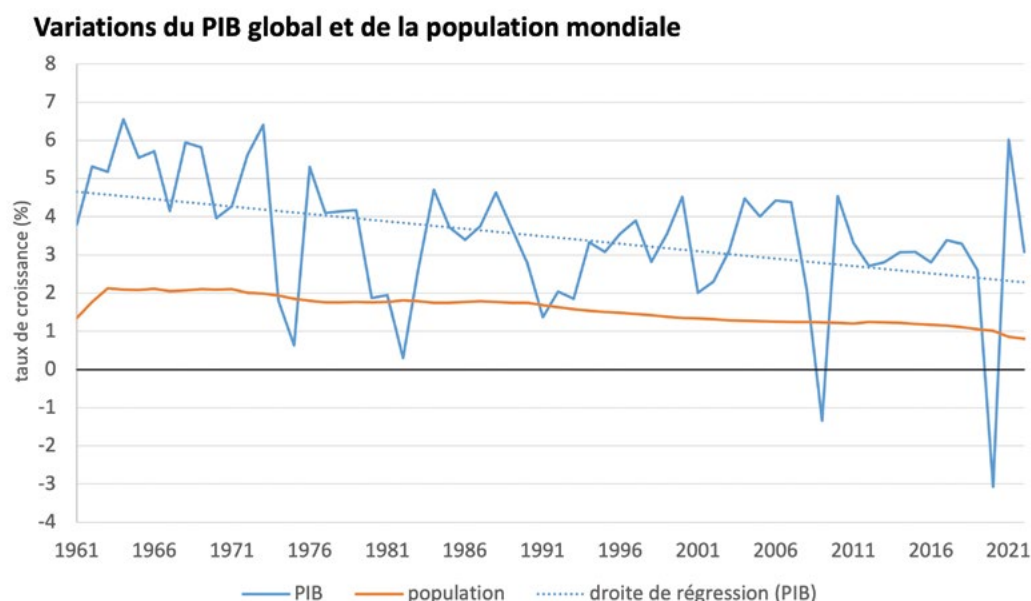


Figure 3. Évolution du taux de croissance du PIB global et de la population mondiale (%) 1961-2022⁴⁰

31 "Long-run growth in many models is the product of two terms: the effective number of researchers and their research productivity. We present evidence from various industries, products, and firms showing that research effort is rising substantially while research productivity is declining sharply. (...) everywhere we look we find that ideas, and the exponential growth they imply, are getting harder to find", Nicholas Bloom et al. (2020), *Are Ideas Getting Harder to Find?* American Economic Review 2020, 110(4)

32 Selon diverses études qui se concentrent sur le reverse Flynn effect, le quotient d'intelligence global aurait plafonné au milieu des années 1970.

33 Projections of peak agricultural land, FAO (2006), *World agriculture: towards 2030/2050*, OCDE (2012), *OECD-FAO Agricultural Outlook 2012* Deepak K. Ray et al. (2012), *Recent patterns of crop yield growth and stagnation*, Nature Communications volume 3, Article number: 1293

34 Tainter (1988), *The Collapse of Complex Societies*, Cambridge University Press

35 UN (2023), *We are far off track to achieve the SDGs*. "The BAU scenario indicates that the social and environmental SDGs cannot be achieved together, within the planetary boundaries", Jorgen Randers et al. (2019), *Achieving the 17 Sustainable Development Goals within 9 planetary boundaries*. Global Sustainability, Volume 2. « L'extrême pauvreté et la faim dans le monde ont reculé, l'accès aux services de base (électricité, eau, santé, éducation...) et l'espérance de vie ont progressé, ainsi que les conditions de vie en général. Pour autant, la part de la moitié la plus pauvre de l'humanité dans les revenus globaux a peu évolué », Observatoire des inégalités (2022), *Les inégalités mondiales de revenus diminuent*.

36 André Sapir, Journée de l'économie, Chambre de Commerce, Luxembourg, 17.04.23

37 À l'échelle mondiale, la dette publique a bondi de 76% entre 2007 et 2022, et pèse désormais plus que le PIB mondial annuel selon S&P (2023), *Global Debt Leverage: Is a Great Reset Coming?* Standard & Poor's Global

38 Alors que les inégalités de revenus reculent depuis 20 ans entre habitants de la planète, les inégalités au sein de nombreux pays tendent à s'accroître. La part perçue par le 1 % le plus riche du monde a connu une envolée, de 17 % de l'ensemble des revenus en 1980 à 21 % en 2000. Cette part a légèrement reculé après 2008, mais s'est maintenue à un niveau très élevé (19 %) en 2020. Voir Observatoire des inégalités (2022).

39 Avec une empreinte carbone de 101 t CO₂eq. par personne, le top 1% des individus les plus riches génère plus d'émissions de GES (16,9%) que la moitié la plus pauvre de l'humanité (11,5%) qui vit avec seulement 1,4 t CO₂eq. par personne. Lucas Chancel. (2022), *Global carbon inequality over 1990-2019*. Nature Sustainability 5, 931-938.

40 En moyenne, sur ces 62 années, le taux de croissance du PIB entre 2 années consécutives est de 3.5%. La pente de la droite de régression vaut -0.04%/an (avec un intervalle de confiance à 95% de -0.06 à -0.02%/an). Le ralentissement reste statistiquement significatif après exclusion de l'observation pour 2020 (crise COVID-19). World Bank (2023), *National accounts data on population and GDP growth*.

Selon l'Institut national de la statistique et des études économiques (STATEC), l'**exception luxembourgeoise** de bénéficier de taux de croissance du produit intérieur brut (PIB) largement supérieurs à ces voisins s'estompe. Les années où la croissance économique au Luxembourg est inférieure à celle de la zone euro deviennent plus fréquentes et l'écart historique en faveur du Luxembourg se rétrécit tendanciellement.⁴¹

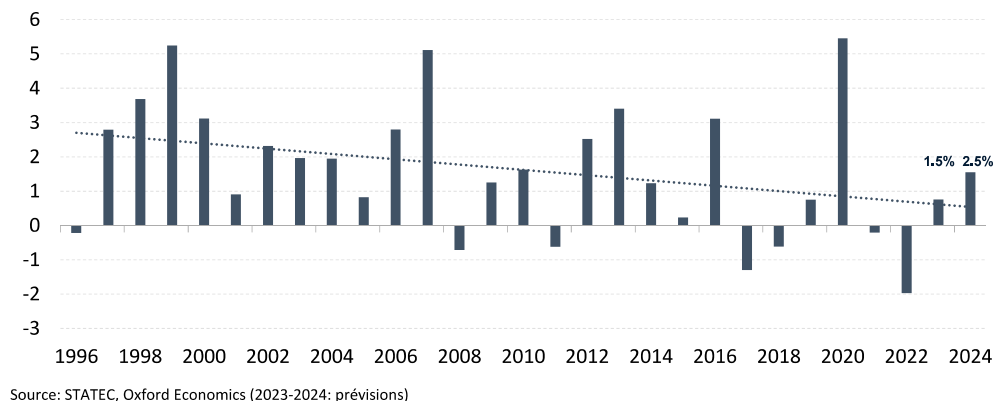


Figure 4. Évolution du différentiel de croissance PIB entre le Luxembourg et la zone euro (en %)

Selon la Fondation IDEA, la croissance ne serait ainsi plus « gratuite » : « Si la croissance des dernières décennies a pu se « matérialiser » dans les faits malgré des projections sous-estimées, cela s'explique en partie par des caractéristiques (disponibilité de logements, de main-d'œuvre transfrontalière, surdimensionnement de certaines infrastructures...) qui disparaissent progressivement et qui seront davantage contraintes par les impératifs environnementaux à l'avenir. »⁴²

Au Luxembourg, le Conseil national de la productivité (CNP) constate en 2022 que « l'économie nationale est confrontée à une **quasi-stagnation persistante de sa productivité** totale depuis le début du millénaire », bien qu'à un niveau élevé en comparaison internationale. Ceci n'est pas particulier au Luxembourg, mais s'observe au niveau de l'OCDE.⁴³ Après une dégradation continue de sa productivité du travail enregistrée depuis 2015, le secteur des activités financières et d'assurance améliore sa productivité en 2020 et 2021. La contribution des technologies de l'information et de la communication (TIC) au progrès économique s'essouffle, avec une baisse significative de sa productivité du travail depuis 2012.⁴⁴ Celle de l'industrie manufacturière s'est bien redressée en 2021 et continue à s'améliorer.

Or le Luxembourg, bien que disposant d'une **productivité** élevée des ressources, voit cette dernière stagner avec en 2020 un niveau proche de celui de 2010, ce qui amène le CNP à conclure que le pays n'a pas réussi à découpler la croissance du PIB de la consommation intérieure de matières (CIM). « Quant à l'évolution de la productivité de l'énergie, il apparaît que la tendance générale des 20 dernières années est positive, aussi bien au Luxembourg que dans l'UE dans son ensemble. Le Luxembourg a réussi à découpler sa production économique de sa consommation d'énergie. Cela peut s'expliquer en partie par le fait que l'économie luxembourgeoise repose principalement sur des activités de services qui sont en général moins énergivores que les activités industrielles. Dans une optique climat, il reste cependant le bémol que l'économie luxembourgeoise affiche une intensité élevée en termes d'émissions de carbone, car la part des énergies renouvelables dans la consommation finale brute d'énergie est relativement faible (11,7% en 2020) et les énergies fossiles dominent dans la consommation d'énergie au Luxembourg. Du fait que le Luxembourg doit importer les énergies fossiles qu'il consomme, la dépendance envers ces sources d'énergie signifie en plus une vulnérabilité du pays. »⁴⁵

41 STATEC (2023), *Note de conjoncture 1-23* : Une lutte contre l'inflation lourde d'intérêts

42 Vincent Hein (2023), *Préparer le Luxembourg au million d'habitants*, Paperjam out of the box

43 The OECD's productivity database 1995 to 2019 highlights the general slowdown in advanced economies' labour productivity growth in the last two decades in CNP (2022), *Rapport sur la productivité 2021-2022*.

44 IDEA (2023), *Grands défis* : propositions en vue des élections législatives, p. 28 & CNP (2022), *Rapport sur la productivité 2021-2022*, p.18

45 Ibid. La productivité des ressources est calculée en divisant le PIB par la Consommation intérieure de matières (CIM)

Parmi les différents scénarios analysés par l'Inspection générale de la sécurité sociale (IGSS) dans son *Bilan technique du régime général d'assurance pension*,⁴⁶ le scénario de base prévoit que la **population** ne s'accroît que faiblement pour se situer à 770.000 habitants en 2050 (785.000 en 2070). Selon Office Statistique de l'Union Européenne (Eurostat) (modèle EUROPOP 2019), le nombre d'immigrants nets par an chuterait d'environ 50% et passerait d'environ 10.200 aujourd'hui à seulement 5.200 immigrants, ce qui représenterait une rupture avec le passé. La croissance annuelle réelle du **PIB** évoluerait en moyenne de 1,8% (*Working Group on Ageing Populations and Sustainability*, AWG : 1,5% moy 2022-2070) entre 2020 et 2070, avec, à partir du début des années 2040, une tendance décroissante continue. L'**emploi** national, tiré par l'emploi frontalier, affiche une croissance annuelle moyenne de 0,6% entre 2020 et 2070. Partant d'une valeur de 2,5%, elle est supposée diminuer rapidement pour finir avec une croissance négative de -0,2% en 2070. La **productivité du travail**, qui détermine l'évolution réelle des salaires, augmenterait de 1,2% en moyenne entre 2020 et 2070 (AWG : 0,8%).

Hypothèses macroéconomiques

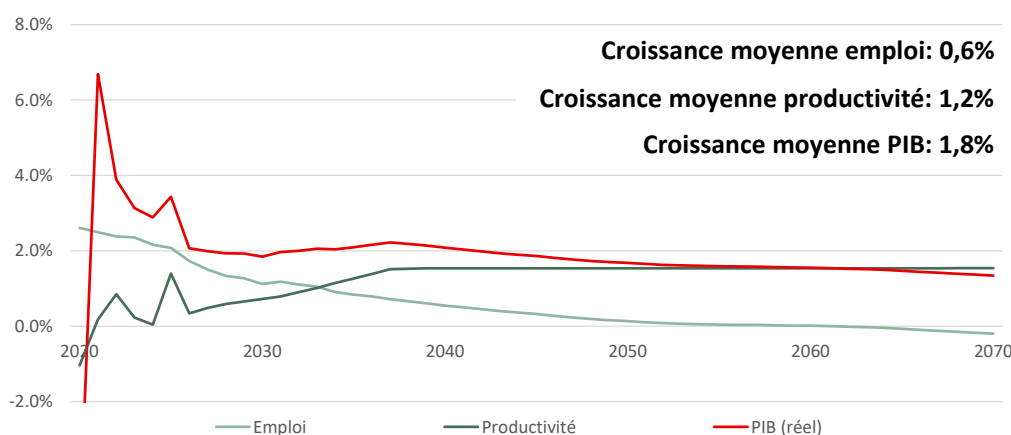


Figure 5. Evolution de la croissance économique et de ses composantes entre 2020 et 2070 (en %), (Scénario de base, IGSS 2022)⁴⁷

Afin d'étendre la base d'analyse et déterminer les événements critiques, IGSS a développé plusieurs scénarios alternatifs plus optimiste en termes de croissance du PIB, de la population, de l'emploi et de la productivité. « En résumé des projections réalisées, tant les recettes en cotisations que les dépenses pour pensions augmenteront jusqu'à l'horizon 2070, mais les dépenses évolueront plus vite que les recettes à cause de l'évolution démographique, y compris en termes de PIB. Les « événements critiques » du régime général d'assurance pension sont (i) le dépassement du taux de cotisation global par la prime de répartition pure, (ii) l'abaissement de la réserve sous le seuil légal de 1,5 fois le montant des prestations annuelles et (iii) l'épuisement de la réserve. Ces trois événements se situent respectivement aux années 2027 (i), 2041 (ii) et 2047 (iii). Les autres scénarios alternatifs analysés par l'IGSS montrent les mêmes tendances, les années des événements critiques sont pratiquement identiques. »⁴⁸

La Fondation IDEA quant à elle a développé en février 2023 trois scénarios économiques et démographiques sous-jacents à l'élaboration de sa vision territoriale.⁴⁹ Les principaux paramètres et résultats du **scénario « au fil de l'eau »** sont : une croissance du PIB de 2,8% par an, une croissance annuelle de la productivité apparente du travail de 0,5%, un maintien de la répartition actuelle entre nouveaux immigrants (45% des besoins) et nouveaux frontaliers (55%) dans l'apport de main-d'œuvre étrangère, une poursuite des gains d'espérance de vie et un maintien du taux de natalité dont

⁴⁶ IGSS (2022a), *Bilan Technique du Régime Général d'Assurance Pension - 2022*. Ministère de la Sécurité Sociale. Le scénario de base reflète les hypothèses démographiques et macro-économiques retenues par le groupe de travail *Working Group on Ageing Populations and Sustainability* (AWG) de la Commission européenne.

⁴⁷ IGSS (2022b), *Bilan technique du régime général d'assurance pension*. Présentation du 26 avril 2022

⁴⁸ Ibid.

⁴⁹ Fondation IDEA (2023), *Une vision territoriale pour le Luxembourg à long terme*. Fir eng kohärent Entwécklung vum Land

résulte une population de 1.092.456 habitants et 955.000 emplois (452.000 résidents + 503.000 frontaliers) en 2050.

Deux scénarios quantifiés alternatifs sont testés : celui d'un recul du niveau relatif de richesse du Luxembourg vers celui constaté avant le décollage de la place financière (**scénario A**) et celui d'une accélération des gains de productivité apparente du travail (**scénario B**).

	PIB	Productivité	Emploi	Population	Emplois	Frontaliers
	évolution	évolution	évolution	nombre	nombre	nombre
	2022-2050	2022-2050	2022-2050	2 050	2 050	2 050
Fil de l'eau	2,8%	0,5%	2,3%	1 092 456	955 092	503 329
Scénario A	0,4%	0,4%	-0,1%	768 591	489 795	212 207
Scénario B	2,8%	1,5%	1,2%	948 457	714 827	341 911

Source: STATEC et Foundation IDEA

Figure 6. Scénario de développement économique et démographique pour le Luxembourg à l'horizon 2050⁵⁰

Ainsi les projections économiques de divers auteurs traduisent quantitativement ce que les scénarios prospectifs de Luxembourg Stratégie dessinent schématiquement (Scénario 1 : croissance continue, Scénario 2 : croissance ralentie, Scénario 3 : croissance accélérée) pour le Luxembourg. Pris ensemble, ces différents scénarios et projections concernant l'économie luxembourgeoise invitent à la prudence en ce qui concerne l'évolution future de sa performance. C'est pour ces raisons, et compte tenu des incertitudes liées aux transitions et poly-crisis caractérisant notre époque, que la Vision économique développée par Luxembourg Stratégie tente de dessiner une voie qui prépare l'économie à ces trois éventualités.

De multiples facteurs peuvent expliquer cette évolution vers une croissance moindre. Parmi eux figure l'augmentation tendancielle des prix des énergies fossiles depuis 60 ans⁵¹ et la diminution long-terme projetée de leur accessibilité physique ou de la demande pour ces énergies carbonées. Le stock d'énergies fossiles, a *one-time bounty*, est le fondement de la civilisation de consommation et de l'industrie. La densité énergétique des énergies fossiles et leur retour historiquement haut d'énergie dépensée pour extraire de l'énergie utile et l'énergie utile extraite (EROI)⁵² ont permis de disposer de travail et de machines bons marchés nous permettant d'ériger notre société d'abondance actuelle. C'est ce surplus d'énergie qui permet le progrès, l'innovation technologique, les biens de consommation. Or les scientifiques⁵³ annoncent un déclin de cet EROI, avec jusqu'à 50% d'énergie nécessaire pour produire de l'énergie. L'énergie nécessaire pour opérer la transition énergétique se raréfie, alors que les besoins mondiaux en énergie augmentent toujours, les énergies renouvelables s'ajoutent et ne se substituent pas aux énergies fossiles.

⁵⁰ Ibid. p.7

⁵¹ Our world in data (2023), Global crude oil prices, measured in US dollars per cubic meter. This data is not adjusted for inflation. Ross (2022), Historical Oil Prices (1968-2022)

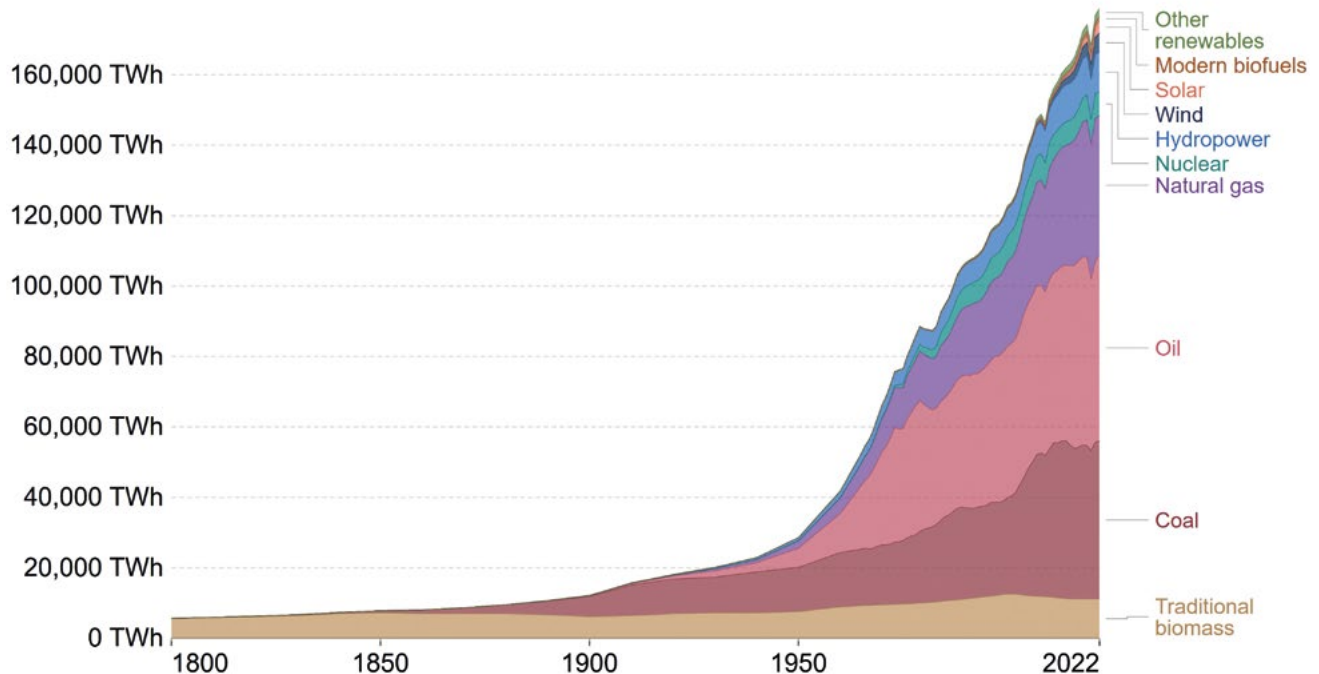
⁵² Proposed by Charles Hall and colleagues in the 1980s, energy return on (energy) investment (EROI) quantifies the energy surplus (energy return) as a fraction of the effort required to generate the surplus (the investment) for a given activity. Charles Hall et al. (1981). Energy Return on Investment for US Petroleum, Coal and Uranium; Mitsch, W., Ed.; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands.

⁵³ "Our society can be described as a thermodynamic system that profoundly relies on abundant cheap energy sources such as petroleum to thrive. However, the rapid growth in use of this non-renewable fossil fuel has undermined its future availability, leaving little doubt that an all-oil liquids peak will take place in the next 10 to 15 years. By 2050, a proportion equivalent to half of the gross oil energy output will be engulfed in its own production. Given the societal dependence on oil and the difficulties in achieving a transition to low-carbon energies in time, such a peak is likely to have deep implications..." Louis Delannoy et al. (2021), Peak oil and the low-carbon energy transition: A net-energy perspective, Applied Energy Volume 304 & Misra (2023), Plummeting 'Energy Return on Investment' of Oil and the Impact on Global Energy Landscape, Journal of Petroleum Technology.

Global primary energy consumption by source

Primary energy is calculated based on the 'substitution method' which takes account of the inefficiencies in fossil fuel production by converting non-fossil energy into the energy inputs required if they had the same conversion losses as fossil fuels.

Our World
in Data



Source: Energy Institute Statistical Review of World Energy (2023); Vaclav Smil (2017)
OurWorldInData.org/energy • CC BY

Figure 7. Une illustration parmi d'autres de la « Grande Accélération »⁵⁴

En même temps, la demande globale en énergie est projetée augmenter de 50% dans les 30 ans à venir⁵⁵, suite entre autres à l'expansion économique et démographique et à la transition énergétique. En transitant des énergies fossiles denses et pilotables vers les énergies renouvelables moins denses et plus volatiles, une reconfiguration entière de nos systèmes énergétiques est nécessaire, ce qui coûte des sommes considérables, voire vertigineuse.⁵⁶

Faute de réserves suffisantes pour compenser le déclin de la production existante de pétrole dans le monde, le prix du pétrole tend à augmenter⁵⁷, et avec lui le coût de la transition énergétique mondiale, puisque ce sont à ce jour les énergies fossiles qui génèrent les énergies renouvelables.⁵⁸ Au-delà de la controverse sur l'imminence ou pas d'un *peak oil* (*supply or demand*), la question des besoins en investissements, des coûts futurs des énergies renouvelables, de la disponibilité physique et de la rentabilité économique de l'approvisionnement en énergie, en matières, en surface et en eau pour réaliser la **transition énergétique** reste posée.⁵⁹

54 Will Steffen et al. (2015), The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration. The Anthropocene Review. 2 (1): 81–98

55 OECD (2022), Competition in energy markets. Competition Policy Roundtable Background Note

56 Jean Pisani-Ferry et Selma Mahfouz (2023), Les incidences économiques de l'action pour le climat, France Stratégie

57 Gail Tverberg (2022), Energy: The Interconnection of Energy Limits and the Economy and What This Means for the Future, présentation à la conférence Luxembourg Stratégie du 17.10.22

58 The Shift Project (2021), Pétrole: quels risques pour l'approvisionnement de l'Europe ?

59 "The global energy transition is not happening. A rebound in economic activity led to a roughly 4% increase in global energy demand, much of which was met by fossil fuels", REN21 (2022), Renewables 2022 Global Status Report.

Car, tout est lié : il s'agit de réaliser rapidement, en même temps, non pas une mais plusieurs **transitions – climatique, énergétique, matérielle, logistique, digitale, sociale, professionnelle, économique, financière, administrative⁶⁰, culturelle, agricole** – pour entrer dans le budget carbone et biophysique à la disposition de l'humanité et tout en veillant à l'équité et l'inclusivité sociales des transitions.

Dans le cadre du Semestre européen, le Luxembourg a défini la réduction du risque de pauvreté ou de **l'exclusion sociale** comme objectifs de la croissance inclusive. Or pour les deux indicateurs, la situation se détériore au Luxembourg : en 2020, le taux de risque de pauvreté ou d'exclusion sociale y était de 20,9% et concernait environ 125.000 personnes. Le *Luxembourg Institute of Socio-Economic Research* (LISER) constate depuis l'an 2000 un creusement des écarts de revenu entre les hauts et les bas revenus au Luxembourg, avec un taux de pauvreté relative de 16% en 2019. Les bas revenus ont certes augmenté depuis 1985 mais ils ont augmenté nettement moins vite que le revenu médian – et beaucoup moins vite que les revenus hauts. Les principaux facteurs de risque de pauvreté sont la citoyenneté étrangère, le manque d'éducation, le chômage et la jeunesse.⁶¹ Ces résultats s'accordent notamment avec les analyses de Luxembourg Stratégie qui révèlent une accentuation continue des inégalités de revenus au Luxembourg entre 1985 et 2019 pour s'établir proche de certains seuils limites internationaux.⁶² Au-delà, le STATEC identifie un sentiment de solitude en forte hausse chez les jeunes de 16 à 29 ans. Le modèle vers lequel transiter devra assurer que la population puisse vivre décemment et que chacun puisse trouver sa place dans la nouvelle économie en réduisant le nombre de personnes menacées par la précarisation ou l'exclusion sociale.

En fait, plutôt que de parler des transitions sectorielles, ou de bifurcations ou de mutations, c'est d'une **transformation systémique** dont il s'agit. C'est cette transformation qui est le projet d'avenir et il s'agit d'en faire partie et d'en devenir acteur et bénéficiaire. Cette transformation implique que les investissements migrent vers les technologies, énergies, procédés, infrastructures bas-carbone et sobres en ressources. Des investissements additionnels et cumulatifs seront nécessaires dans la mobilité, l'agriculture, le logement, les infrastructures, l'adaptation au changement climatique, la transition juste, la préservation de l'eau ou le maintien de la biodiversité.

Bien que l'érosion de la **biodiversité** soit une mégatendance observée notamment par la Commission européenne,⁶³ ce domaine reste un *blind spot* pour la plupart des entreprises, qui voient peu de liens directs pour leur *business case*.⁶⁴ Comme le suggèrent les résultats préliminaires de l'étude RISK2050 de Luxembourg Stratégie, au Luxembourg, les industries à forte intensité énergétique perçoivent les pertes de biodiversité et les dégradations d'écosystèmes comme des menaces lointaines et indirectes qui affectent principalement le bien-être et la santé des employés et de la société en générale.⁶⁵

60 Le projet OCDE-OPSI de Anticipatory Innovation Governance développe et teste de nouvelles approches et mène une recherche-action avec les gouvernements et les partenaires dans ce domaine émergent de la pratique de l'innovation anticipative.

61 LISER (2023), *Inégalités et pauvreté*. Lëtzebuurger Land, 16 juin 2023.

62 Luxembourg Stratégie (2023) Evolution of the social foundations over time in Luxembourg and neighbouring countries. Ministère de l'Économie. La Standardised World Income Inequality Database offre des informations de manière continue depuis 1985 sur le coefficient de Gini (la mesure par laquelle la distribution de revenu dans un pays s'écarte d'une distribution parfaite, où 0 désigne une égalité parfaite et 1 une inégalité complète où 1 personne capterait 100% des revenus). Selon Thomas Piketty (2014), *Capital in the Twenty-First Century* & Andrew L. Fanning et al. (2021), *The social shortfall and ecological overshoot of nations*, *Nature Sustainability*, 5(1), pp. 26–36., 0.3 décrit une inégalité moyenne voire faible (la situation aux États-Unis dans les années 1970s). La mesure d'inégalité au Luxembourg est passée de 2,4 en 1985 à 2,9 en 2019.

63 European Commission (2022), *Brief me on nature-based solutions*. Knowledge. Center for biodiversity, European Commission (2021), *Brief me on biodiversity and trade*. Knowledge. Center for biodiversity.

64 85% des plus grandes firmes internationales ont un risque modéré voire élevé de dépendance de la nature à travers leurs opérations directes, S&P (2023), *How the world's largest companies depend on nature and biodiversity*. Par ailleurs, \$44 trillion de valeur économique globale, ce qui représente plus que la moitié du PIB global (2019), est modérément ou hautement dépendante des ressources naturelles et des services écosystémiques comme la pollinisation. WEF (2020), *New Nature Economy Report II – The Future Of Nature And Business*.

65 L'étude RISK2050, menée par Luxembourg Stratégie en collaboration avec l'Université du Luxembourg, doit se conclure en fin 2023. Elle vise à analyser la vulnérabilité de l'économie du Luxembourg face à 3 risques physiques principaux : (i) le changement climatique, (ii) le déclin de la biodiversité et (iii) la raréfaction de ressources

Cet état des choses est cependant en train d'évoluer, comme en témoigne une publication de la Banque Centrale Européenne, intitulée *L'économie et les banques ont besoin de la nature pour survivre*. Elle relève que 72% des 4,2 millions d'entreprises de la zone euro sont fortement dépendantes d'au moins un service lié à la nature, comme la pollinisation, l'eau propre, des sols ou le bois sains.⁶⁶ Selon la Commission européenne, en Europe six industries majeures dépendent à travers leurs chaînes d'approvisionnement pour au moins 50% de leurs chiffres d'affaires de la nature : construction et secteur immobilier, chimie et matériaux, aviation et tourisme, mines et métaux, logistique et transport, commerce de détail, biens de consommation et mode de vie consommateur.⁶⁷ Récemment, un collectif d'entreprises appelle dans une tribune du journal « Le Monde » le gouvernement français à faire de la régénération du vivant la boussole de ses lois de planification.⁶⁸

66 Elderson (2023), *The economy and banks need nature to survive*, European Central Bank & European Commission (2020), *The business case for biodiversity: the European Green Deal*

67 European Commission (2020), *The business case for biodiversity: the European Green Deal*

68 « Les activités économiques doivent contribuer activement à la restauration de la biodiversité », Le Monde, 31.07.23

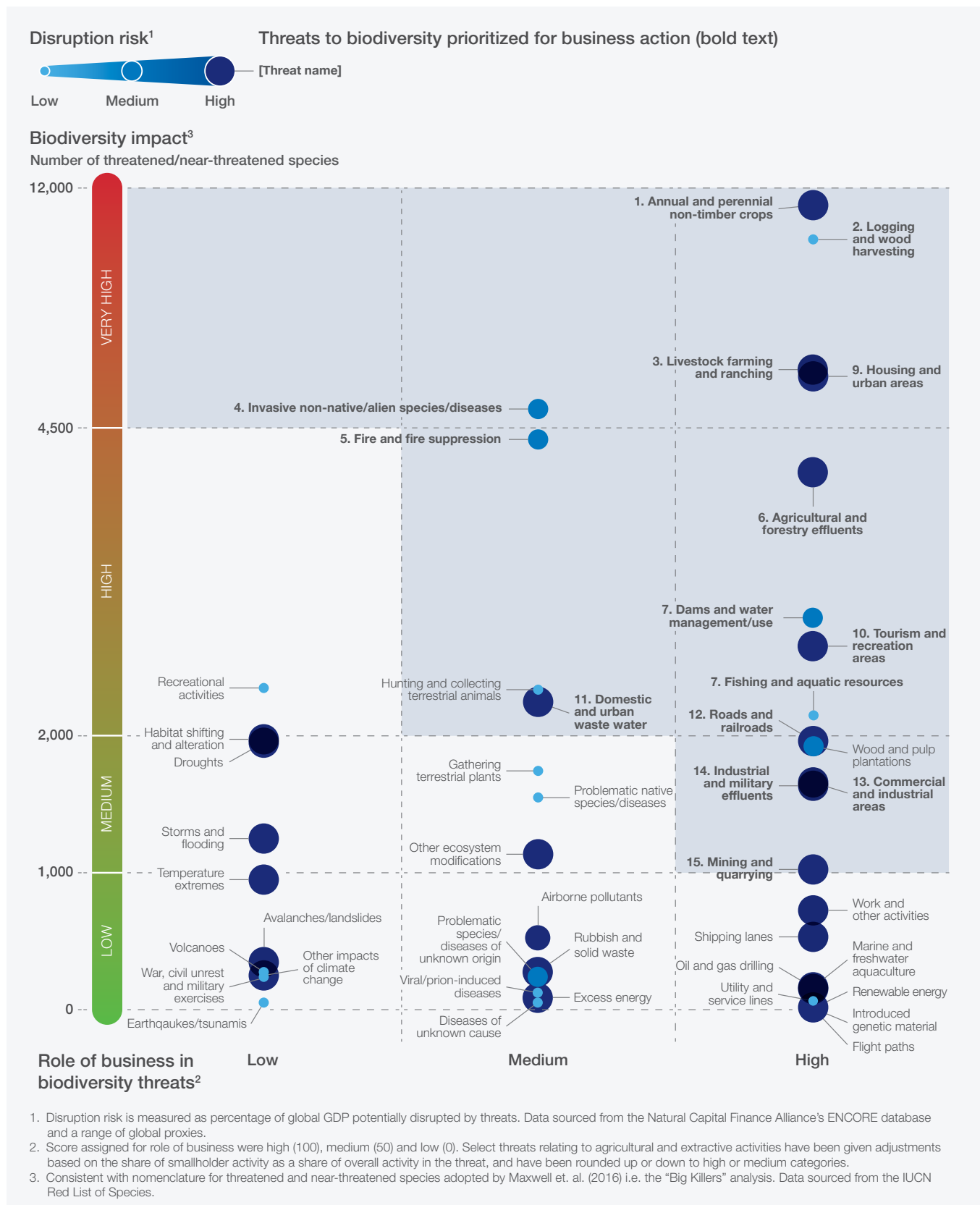


Figure 8. Threats to biodiversity prioritized following three criteria: their impact on biodiversity, the role of business in driving them and their disruptive potential for business (2020)⁶⁹

69 WEF (2020), *New Nature Economy Report II – The Future Of Nature And Business*, p. 20. See also Finance for Biodiversity Foundation (2023), *Briefing paper – Top 10 biodiversity-impact ranking of company industries*.

Dans une approche holistique, la Vision ECO2050 tente de tenir compte tant de ce contexte socio-économique et biophysique pour mieux réussir la multitude des transitions devant nous, en faire des opportunités économiques et d'affaires tout en participant à l'amélioration de la qualité de vie de tous.

Par **transition écologique**, on entend la mise en œuvre de trajectoires de développement qui préservent ou rétablissent la viabilité de la planète. Elle repose sur la transformation de nos façons de produire, de consommer, de travailler, de nous déplacer, d'habiter et de partager des richesses économiques dans les limites de ce que la Terre peut régénérer ([Brique 3](#), [Brique 6](#)).⁷⁰ Elle vise aussi à assurer l'approvisionnement continu en biens et services vitaux (nourriture, air pur et eau, matériaux, médicaments, abri).

La **transition climatique** vise elle aussi à maintenir l'habitabilité de la planète face à la dérive climatique, et ce par deux moyens : réduire les émissions jusqu'à atteindre la neutralité carbone et s'adapter aux effets du changement climatique en cours. Cette décarbonation demandera des ressources essentielles (métal, terres rares, etc.) dont l'Europe est dépourvue ([Brique 1](#)). Il faudra remplacer les biens carbonés et intenses en ressources (moyens de transports, logements, chaudières, etc.) par des non-carbonés et sobres en ressources ([Brique 2](#)). De nombreuses technologies de décarbonation n'existent pas encore, sont intenses en ressources ou extrêmement chères. « Le changement climatique menace toutes les entreprises, étant donné qu'elles existent toutes sur Terre. Toutefois, certaines sont plus vulnérables que d'autres. Les petites et moyennes entreprises (PME) devraient être touchées de manière disproportionnée : activités commerciales perturbées, chaînes d'approvisionnement et infrastructures perturbées, biens endommagés, ce qui entraînera une augmentation des coûts d'entretien, des matériaux et des prix. Toutefois, l'action pour le climat offre aux entreprises un large éventail de nouvelles possibilités pour développer des produits et des services qui contribueraient à la fois à réduire les émissions et à s'adapter à un monde de plus en plus chaud »⁷¹ ([Brique 7](#)).

Contrairement à ce qui est communément admis, de toutes les terres habitées, c'est le continent européen qui se réchauffe le plus rapidement, avec une augmentation atteignant déjà +1,2°C en moyenne par rapport au niveau préindustriel.⁷² Les nappes phréatiques y sont basses suite à plusieurs étés historiquement secs. Considérant l'étendue, la densité et la sophistication de la technosphère construite par l'homme dans les pays à hauts revenus, une plus grande valeur économique y est à risque de dommages physiques résultants des extrêmes climatiques et des perturbations des cycles naturels que dans les régions moins densément construites et équipées.

La contraction de la base physique de la production peut résulter en **conflits d'usages** ou provoquer des boucles de rétroaction entre systèmes.⁷³ Comment évolue l'hydro-électricité, source de la moitié de l'électricité « verte » au Luxembourg, face aux sécheresses, baisse du débit des fleuves, surexploitation de l'eau ? Comment stocker le carbone dans les meubles si la qualité du bois ne permet plus sa transformation noble en mobilier ? Quels impacts ont les pertes de rendements agricoles ou sylvicoles sur l'industrie agro-alimentaire ou la construction ? Comment maintenir, voire augmenter, la fonction de puits du carbone du sol et des forêts, si le sol perd en matière organique et humidité et si 2 arbres sur 3 sont malades ou asséchés avec comme risque de les voir émettre plus de gaz à effet de serre (GES) qu'ils n'absorbent ?⁷⁴ Faut-il accorder la priorité à la biomasse pour la construction, l'industrie, l'énergie, le transport (biocarburants et *Sustainable Aviation Fuels* (SAF)) ou l'alimentation, à l'hydrogène vert pour l'industrie lourde ou pour les engrais ? Faut-il réserver l'eau de moins en moins abondante pour le refroidissement, l'électrolyse en vue de produire de l'hydrogène, l'irrigation des légumes ou des vignes, l'abreuvement du bétail ? Comment réaliser les

70 Chambre de Commerce (2023), [Accélérer les transitions écologique et énergétique](#)

71 Commission européenne (2023), [Conséquences du changement climatique pour les entreprises](#)

72 Copernicus (2023), [European State of the Climate Report](#), Copernicus Climate Change Service, 20.4.2023. L'Arctique subit actuellement la plus grande augmentation de température.

73 Luxembourg Stratégie (2023), [Étude RISK2050](#), Ministère de l'Économie

74 Munch (2023), [Sécheresse, scolytes, incendies : comment les forêts du Grand Est sont devenues une "source" de CO₂](#), France bleue, 19.06.23. la capacité des forêts françaises à absorber le CO₂ s'effondre selon Académie des Sciences (2023), [Les forêts françaises face au changement climatique](#)

besoins fondamentaux pour tous dans un contexte de dépassement écologique ?⁷⁵ Quelles sont les céréales de l'avenir qui résistent aux dégradations écosystémiques et climatiques ? Comment extraire les ressources minérales locales de manière respectueuse de l'environnement ? Comment adapter les ressources naturelles au changement climatique si elles sont déjà fragilisées ? Comment protéger les salariés des effets négatifs des extrêmes climatiques et les activités économiques de dommages physiques (tempêtes, inondations, glissements de terrain, etc.) ? Quelles sont les conséquences pour l'économie et la finance de la perte de biodiversité ?⁷⁶ L'État est appelé à fournir les conditions cadres afin d'anticiper ces conflits.

Ces exiguïtés sont particulièrement marquées au Luxembourg, qui importe près de 90% de son énergie ou de son alimentation et dont le sol et l'eau sont des ressources précieuses subissant de nombreuses demandes concurrentielles d'usages et de pressions humaines.

La **transition sociétale** (Brique 3, Brique 4, Brique 6) aborde les questions les plus difficiles, traitant des barrières et des opportunités sociales, économiques, comportementales, psychologiques, organisationnelles et politiques ainsi que de l'interaction complexe entre ces aspects et avec les aspects technique et biophysique.⁷⁷ La technologie comme les dispositifs de politiques publiques ne peuvent être conçus indépendamment de l'usager, de ses pratiques et des collectifs dans lesquels il évolue. Les changements de comportement et de mode de vie sont donc essentiels au déploiement des transitions climatique, énergétique ou écologique.⁷⁸ Les **transitions justes** visent à accompagner le mouvement par une politique sociale qui protège les personnes les plus vulnérables et fragiles dans notre société. On regroupe sous le terme **transitions socio-économiques** les initiatives pour renforcer une économie écologiquement durable et résoudre ainsi la raréfaction structurelle des ressources et les problèmes environnementaux, notamment liés à l'utilisation des énergies fossiles et au réchauffement climatique.

Une autre ressource vitale ne doit pas manquer à l'équation : le **temps, ressource non-renouvelable, est une limite dure**. Les transitions prennent du temps, alors que le temps manque pour réussir la course contre la montre face aux altérations environnementales et à l'emballement des changements technologiques et digitaux. Il va falloir tenir la tension entre faire vite pour répondre à l'urgence et prendre le temps pour faire les bons choix. Pour cela, il faut travailler sur deux niveaux : analyser aujourd'hui les choix technologiques et infrastructurels qui nous embarquent sur le long terme afin d'éviter un *lock-in* et *path dependencies*⁷⁹ qui augmentent les coûts significativement dans l'avenir. Il faut prendre du recul et analyser, se concentrer sur l'essentiel, apprendre de ses erreurs, adopter une approche systémique, placer le développement technologique et sociétal dans le long-terme, changer d'échelle et provisionner pour l'inconnu.

« La seule solution viable n'est pas de restreindre nos désirs, mais d'en changer. »

Gaspard Koenig, Président, GénérationLibre

L'approche ECO2050 se place ainsi résolument au sein des limites biophysiques et des besoins socio-économiques, garant de la plausibilité de la Vision. Ceci impose une vue **systémique** sur l'ensemble des politiques et stratégies nationales afin d'établir si leur mise en œuvre conjointe et simultanée est réaliste au regard des ressources et moyens disponibles. Cela implique aussi un rôle fort pour la puissance publique pour orchestrer les transitions et répartir équitablement l'effort et les bénéfices. La difficulté consiste en effet dans la cohérence politique et biophysique des transitions à réaliser en

⁷⁵ The BAU scenario indicates that the social and environmental SDGs cannot be achieved together, within the planetary boundaries", Jorgen Randers et al. (2019), *Achieving the 17 SDGs within 9 planetary boundaries*, Global Sustainability, Volume 2.

⁷⁶ 85% des plus grandes firmes internationales ont un risque modéré ou haut de risque de dépendance de la nature à travers leurs opérations d'après S&P (2023) *Nature positive* & la capacité des forêts françaises à absorber le CO₂ s'effondre selon Académie des Sciences (2023), *Les forêts françaises face au changement climatique*.

⁷⁷ Voir les publications du *Environmental innovation and societal transitions Journal*

⁷⁸ ADEME (2021), *Analyser les pratiques sociales pour favoriser la transition énergétique et écologique*. Lettre ADEME Recherche n° 33

⁷⁹ Path dependency is seen as a process that has the property of staying on a particular path, so that past decisions and contingent events pre-determine what further steps may be taken. Technologies, policies, or governance modes are locked-in. Self-reinforcing mechanisms contribute to their reproduction and diminish the range of likely alternatives. Susanne Hanger-Kopp et al. (2022), *Defining and operationalizing path dependency for the development and monitoring of adaptation pathways*, Global Environmental Change, Volume 72, 2022.

un temps record, de ne pas réaliser une transition au dépens d'une autre, de ne pas perdre du temps à s'adonner à des illusions sur ce qui est faisable et finançable, de ne pas augmenter ou déplacer les vulnérabilités d'un secteur, d'une région ou d'une génération à une autre. Il s'agit de faire basculer l'économie vers la réalisation de toutes les transitions, de manière rapide, équitable et juste et pour voir ses objectifs converger avec ceux du vivant.

4. Le lien entre la Vision stratégique ECO2050 et l'étude stratégique TIR2050

L'étude stratégique TIR à horizon 2050, réalisée en 2015 avec le concours du futuriste Jeremy Rifkin, et la Vision ECO2050 **ne sont pas des stratégies économiques**, mais des réflexions stratégiques visant à enrichir le débat et à s'interroger sur les réponses que l'on peut envisager face à différents scénarios d'avenir. TIR se base sur un de deux scénarios quantifiés élaborés par des experts, ECO2050 se base sur 3 scénarios non-quantifiés élaborés par un groupe de travail multidisciplinaire de non-experts.

Contrairement à l'hypothèse d'une baisse rapide et durable des prix de l'énergie due à l'avènement des énergies renouvelables de l'étude stratégique TIR,⁸⁰ la Vision ECO2050 présuppose une augmentation possible des prix de l'énergie et des matériaux, et par conséquent des coûts de production et des prix de vente.⁸¹ Cette précaution s'explique par le volonté de la Vision ECO2050 de répondre « sans regret » à trois futurs possibles : un avenir de croissance économique et démographique « au fil de l'eau » (S1), un avenir de ralentissement de la croissance économique et démographique (S2), un avenir de croissance forte de l'économie et de la démographie (S3). La Vision ne considère pas non plus la dématérialisation par la virtualisation comme acquise, puisqu'on observe une augmentation de l'empreinte matérielle et énergétique de la digitalisation et de l'automation⁸² (Brique 4).

TIR, et plus récemment l'invasion de l'Ukraine, nous ont fait prendre conscience de l'importance vitale de l'énergie pour la société, l'économie et l'industrie. La crise COVID-19 a aussi fait prendre conscience de l'importance d'une meilleure indépendance en matière d'approvisionnement élémentaire. Aujourd'hui les objectifs climatiques et énergétiques sont devenus légalement contraignants au Luxembourg et en UE. À cela s'ajoutent les objectifs en matière de baisse de la consommation matérielle et de la perte de biodiversité et de réduction de l'artificialisation du sol, qui sont plutôt délaissés dans TIR.

80 Jeremy Rifkin (2014) *The Zero Marginal Cost Society*. St. Martin's Griffin

81 Les prix de l'électricité en Europe montent depuis 2008 pour les ménages, et pour l'industrie (5% de 2008 à 2019). European Commission (2020), *Study on energy prices, costs and their impact on industry and households*, DG Energy. Le Conseil de l'UE explique l'augmentation extraordinaire depuis 2021 des prix de l'énergie par les facteurs suivants : hausse 2021-2022 des prix d'importation du gaz, conditions climatiques extrêmes résultants en plus de consommation d'énergie pour le refroidissement et des contraintes au niveau de la production nucléaire et hydroélectrique, hausse de la demande en gaz liquéfié, plus grande consommation de gaz par l'Asie suite à son expansion économique, arrêt des livraisons de gaz par la Russie en 2022. Council of the EU (2023), *Energy prices and security of supply*. Un signal faible (glossaire en annexe) à observer concerne le renversement récent de la tendance historique de baisse des coûts des énergies renouvelables avec une hausse relative décelable depuis 2021 de ces coûts sous l'effet conjugué de contraintes d'approvisionnement, envol des coûts des énergies fossiles, du renforcement du réseau européen d'électricité et du fret international, inflation et augmentation des taux d'intérêt, réduction de subventions aux énergies renouvelables. IEA (2022), *Renewable Energy Market Update – May 2022*. Plusieurs observateurs évoquent une crise de l'énergie éolienne, notamment offshore : BloombergNEF (2022), *Wind – 10 Predictions for 2022*, Procurement Ressources (2022), *Wind Energy Price Trend and Forecast*, Bloomberg (2023), *World's Biggest Wind Power Projects Are in Crisis Just When World Needs Them Most* & Financial Times (2023), *Soaring costs threaten offshore wind farm projects*. "In Europe, new investment in wind farms actually fell by more than 40% in 2022 compared to 2021, as did new wind turbine orders", Watson Institute (2023), *Letting Europe's Energy Crisis Go to Waste: The Ukraine War's Massive Fossil Fuel Costs Fail to Accelerate Renewables*.

82 Anne Faure (2021), *Transition numérique : le cas français*. Autour du rapport Soutenabilités ! Orchestrer et planifier l'action publique. Présentation France Stratégie. *Conférence Luxembourg Stratégie*, 17.10.22



Figure 9. Objectifs biophysiques internationaux et nationaux à horizon 2030 et 2050

La fenêtre de tir s'est ainsi rétrécie depuis 2015. Tout de même, beaucoup de mesures TIR continuent leur vie et sont amplifiées à travers la Vision ECO2050 : économie circulaire, meilleure autonomie énergétique via les sources renouvelables, efficacité et stockage énergétique, économie interconnectée, *digital for sustainability* et infrastructures souveraines, finances durables, nouveaux modèles d'affaires et de consommation, valorisation des *collaborative commons* ou réduction du besoin de mobilité.

En 2021, les trois partenaires historiques du processus TIR – le ministère de l'Économie, la CdC et IMS Luxembourg – ont effectué un état des lieux, 5 ans après le lancement de l'étude stratégique.⁸³ Il montre d'un côté que de nombreuses mesures ont été réalisées, progressent, ont changé de dénomination ou d'orientation ou ne sont pas attribuables à la seule impulsion TIR. D'un autre côté, beaucoup reste à faire. Le scénario TIR de production nationale d'électricité s'avère aujourd'hui trop conservateur.⁸⁴ Quoiqu'il en soit, même les mesures dont les objectifs quantitatifs s'avéraient dépassés (p.ex. que 100% des nouvelles immatriculations soient électriques en 2025, ou que 100% de l'agriculture soit biologique en 2050) ont eu le bénéfice de stimuler le débat et la prise de conscience des enjeux et d'accélérer les initiatives dans ces domaines.

En nous amenant à nous projeter loin dans l'avenir, à rapprocher les secteurs dans une approche commune, le processus TIR était bénéfique et pionnier au Luxembourg. Il a concentré les esprits et a permis de converger vers une vision intergénérationnelle multisectorielle partagée. Il est certainement aussi un des déclencheurs pour compléter ou préciser les outils de planification stratégiques existants, que ce soit dans le domaine de la *data-driven economy*, de l'industrie manufacturière, de la *sustainable finance* ou de l'économie circulaire.

En conséquence, à l'état des lieux de TIR en 2021, Luxembourg Stratégie a été créé pour élargir et approfondir les réflexions prospectives lancées dans le contexte de l'étude stratégique TIR, afin d'accélérer la transition vers une économie durable et résiliente. La méthode de Luxembourg Stratégie est différente, se basant sur l'observation de mégatendances, l'identification de bifurcations incertaines, le développement collaboratif de scénarios d'avenirs possibles, pour en décliner une

⁸³ IMS Luxembourg et al. (2021), *État des lieux de 49 mesures stratégiques*, Ministère de l'Économie

⁸⁴ Les scénarios TIR/Fraunhofer ISE tablaient sur un besoin de près de 1100 MW de génération nationale d'électricité « verte » en 2040. En 2020, le scénario cible du PNEC visait 2 500 MW. Michels (2022), *Energy Transition @ Creos, a view to 2040*. *Conférence Luxembourg Stratégie*. 18.10.22

vision stratégique répondant aux scénarios. Les deux exercices sont *home-grown* dans ce sens qu'ils reposent sur les connaissances et expertises existantes au Luxembourg. TIR et ECO2050, avec différents moyens, se sont organisés en groupes de travail et comités de pilotage composés des principaux acteurs économiques, entreprises, administrations, corps intermédiaires et ont mobilisé la société civile. ECO2050 a aussi fait appel aux savoirs de toutes les directions et administrations du ministère de l'Économie, aux observatoires thématiques⁸⁵, à l'expertise prospective nationale et internationale et aux communes.

Le périmètre sectoriel de la Vision ECO2050 coordonnée par Luxembourg Stratégie est plus restreint que celui de TIR. Alors que l'étude TIR détaille un catalogue sur 400 pages de mesures et actions concrètes, l'approche ECO2050 est plus modeste et reste au niveau des principes et objectifs généraux. La Vision ne préconise pas une technologie plus qu'une autre. Elle cherche à rester neutre tout en posant certains principes et critères de base à respecter dans le choix des solutions, parmi lesquels celui de la **résilience** et de la **précaution** qui prônent une diversité de choix technologiques compatibles plutôt qu'une **exclusivité technologique**.

ECO2050 prend le parti de dire que les diverses transitions appellent à **renforcer la production physique nationale**, que ce soit par l'industrie, l'artisanat, l'agriculture ou la sylviculture, et non pas à démanteler l'héritage industriel. Tant la dépendance accrue aux importations, tant un retour exclusif à un artisanat local protégé, tant une orientation vers autarcie sont à éviter. La refonte des systèmes productifs et énergétiques exige justement de grands efforts industriels et artisanaux combinés et des investissements considérables. Elle fournira des emplois à une nouvelle génération de salariés formés et motivés. Dans la Vision ECO2050, la création de valeur dérive de l'augmentation des capacités et du bien-être des personnes, du goût de l'effort et du travail bien fait plutôt que de l'accumulation sans fin d'objets, de l'augmentation du temps d'écran ou de la dégradation continue du cadre de vie.

5. La Vision ECO2050 : une réponse sans regret aux trois scénarios d'avenir économique possibles

La Vision est structurée en 10 briques résumées ci-dessus et trouve son origine dans les 3 scénarios économiques 2050 (S1, S2, S3) élaborés sous la coordination de Luxembourg Stratégie courant 2022-2023.

1. Améliorer l'autonomie stratégique ouverte pour renouveler la production nationale

Une économie moins dépendante des importations et des chocs sur les marchés internationaux est un atout, quoi qu'il advienne (S1, S2, S3). Préserver, sécuriser et optimiser les facteurs physiques critiques de production énergie-matériaux-terrain-eau permet de continuer à produire, d'implanter de nouvelles activités, d'anticiper d'éventuelles baisses de consommation et d'approvisionnement (S2) et de tirer parti des changements de préférences des consommateurs (S2), d'une intensification *high-tech* et digitale visant l'exportation (S3) ou d'une industrie verte et *low-tech* visant le marché régional (S2).

85 17 observatoires thématiques pratiquant la veille de mégatendances existent au Luxembourg. Cela inclut les observatoires de la Compétitivité, du Développement spatial, de l'Égalité, de l'Enfance, de la Jeunesse et de la Qualité scolaire, de l'Environnement naturel, de l'Emploi (RETEL), de la Fonction publique, de la Formation des Prix, de l'Habitat, de la Mobilité, des PME, de la Politique climatique, des Politiques sociales, de la Santé, et du Travail et de la Cohésion sociale.

2. Déployer la circularité et la sobriété à toute l'économie

La circularité et la sobriété contribuent à plus d'autonomie dans la production et la consommation, ainsi qu'à la décarbonation et à l'efficacité de l'utilisation des ressources, répondant ainsi aux contraintes en énergie et en matières, à l'élargissement de l'empreinte environnementale (S1, S3), au manque de ressources, y compris financières, et à l'affaiblissement (S3) ou au rétrécissement (S2) potentiel de l'UE.

3. Placer l'humain, les savoirs et le bien-être au cœur de l'économie

L'innovation sociétale et organisationnelle peut être un levier pour développer la création d'activités, l'emploi, la cohésion sociale et répondre aux nouveaux besoins sociaux. Il s'agit de mobiliser, former, convertir, attirer, retenir et enthousiasmer des compétences et vocations dans un contexte d'inadéquation entre offre et demande de main-d'œuvre qualifiée pour réaliser les transitions. Intenses en nouveaux savoirs (KIS), S2 combine savoirs anciens et nouveaux, manuels et digitaux. S3 vise à rester à la pointe de l'innovation *high-tech* et de la donnée.

4. Concilier les transitions digitale, écologique et sociale

Si les technologies digitales peuvent faciliter l'émergence d'un futur plus économe, elles ont également une empreinte environnementale non-négligeable et façonnent nos relations sociales. Il s'agit de limiter les effets déstabilisateurs des transitions pour la cohésion sociale (S1, S3) et de limiter l'empreinte environnementale de l'innovation digitale (S1, S3) en utilisant son potentiel en faveur du progrès social et de la transition écologique.

5. Investir dans la redondance critique, le stockage stratégique et les solutions dédoublées

Pour que l'économie soit plus résiliente face aux chocs et se remette plus vite des perturbations, il y a lieu de créer des réserves et de renforcer la résilience des infrastructures critiques (S1, S2, S3). Ceci permet de mieux maîtriser l'évolution de leurs prix et leur bon fonctionnement dans un contexte de contraintes énergétiques, matérielles, alimentaires, hydriques, d'accroissement des risques physiques et d'augmentation des tensions géopolitiques (S1, S3).

6. Simplifier les procédures, raccourcir les chemins et faciliter les transmissions

Améliorer l'environnement professionnel des entrepreneurs, investisseurs et chercheurs par un allègement des procédures, fera évoluer également la culture d'entreprise, permettant d'attirer les jeunes recrues et les talents. Cette ambition ancienne nécessite priorité absolue et moyens conséquents pour tenir le calendrier des transitions. Simplifier est pertinent face à une complexification croissante (S1) ou à une transformation hybride (ralentissement) du système (S2) autant que face à une compétition exacerbée entre systèmes (accélération) (S3).

7. Diversifier l'économie en l'adaptant aux enjeux du futur

Renforcer les biens communs et les adapter aux modifications environnementales (climat, biodiversité, raréfaction des ressources) est un atout d'intérêt général (S1) et une opportunité économique (S2, S3). L'économie spécialisée en carbone produit, vend et exporte des biens et services climatiques, bas-carbone et résilients (S3), tout en assurant les besoins vitaux de la population (S2). Dans les soins p.ex. les coûts sont réduits et la qualité est augmentée grâce à la numérisation (S3).

8. Intégrer les nouveaux défis à la diplomatie économique

Forger des liens diplomatiques et commerciaux forts avec d'autres pays partageant les mêmes valeurs est un atout pour mieux réussir les multiples transitions. Ceci est justifié dans un contexte d'incertitude internationale (S1, S2, S3) concernant la répartition des ressources rares et de l'effort de décarbonation, l'interférence technologique avec le changement climatique (S3), le rôle de l'économie (S2) ou face à un développement incertain de l'intelligence artificielle (IA) dominé par les grandes entreprises multinationales (S3).

9. Assurer des finances publiques soutenables et solides

Les transitions auront un coût dans tous les scénarios (S1, S2, S3) affectant les moyens de financement de l'État providence. Prévenir des déséquilibres financiers peut passer par l'anticipation, la réalisation d'économies par la promotion de la santé, de l'environnement et du bien-être des citoyens (S2), la taxation fossile (S1), la réallocation des fonds publics vers les investissements résilients, la constitution de réserves (S1), la *blended* finance (S3) et la finance durable (S2) ou la spécialisation dans les produits et compétences financiers « verts » (S2).

10. Tourner l'anticipation en avantage économique comparatif

Une planification à long terme et une alerte précoce permettent d'identifier en amont les vulnérabilités et les opportunités et de réagir à un stade précoce afin de réduire le potentiel de déstabilisation des transitions. L'anticipation permettra d'identifier les pénuries de main-d'œuvre (S1, S3), les technologies (*high- & low-techs*) de ruptures (S2, S3), les marchés d'avenir avant la concurrence. Elle facilitera les arbitrages stratégiques à opérer face aux conflits d'usage des ressources limitées (S1, S3), contribuera à éviter les actifs échoués (S1) ou à accélérer les transformations (S2, S3) et à réduire les coûts liés aux transitions.

SCÉNARIOS D'AVENIR ECO2050

BRIQUES STRATÉGIQUES ECO2050	SCÉNARIO 1 (S1)	SCÉNARIO 2 (S2)	SCÉNARIO 3 (S3)
	LA PERMANENCE DES TRANSITIONS	LA SIMPLIFICATION ET LE RALENTISSEMENT	L'INNOVATION TECHNOLOGIQUE SANS CHANGEMENT COMPORTEMENTAL
1 <u>Améliorer l'autonomie stratégique ouverte pour renouveler la production nationale</u>	→ les dépendances aux importations & chocs commerciaux ↘ → Parer à la ↗ des contraintes (énergie, matière, alimentation ou eau, etc.)	→ les dépendances aux importations & chocs commerciaux ↘ → Profiter d'une meilleure suffisance en ressources → Tirer parti de l'intensification <i>low-tech</i> pour le marché grand-régional	→ les dépendances aux importations & chocs commerciaux ↘ → Parer à la ↗ des contraintes (énergie, matière, alimentation ou eau) → Tirer parti de l'intensification <i>high-tech</i> pour l'exportation
2 <u>Déployer la circularité et la sobriété à toute l'économie</u>	→ Parer à la ↗ des contraintes (énergie, matière, alimentation ou eau)... → ...et à celle de l'empreinte écologique → Miser sur l'efficacité pour minimiser l'effet rebond et d'éviction	→ Parer au rétrécissement potentiel de l'UE → Miser sur la sobriété et le changement comportemental pour éviter l'effet rebond et d'éviction	→ Parer à la ↗ des contraintes (énergie, matière, alimentation ou eau) ... → ...à celle de l'empreinte écologique... → ...et à l'affaiblissement de l'UE → Miser sur le recyclage pour minimiser l'effet rebond et d'éviction
3 <u>Placer l'humain, les savoirs et le bien-être au cœur de l'économie</u>	→ Maintenir l'attractivité du Luxembourg pour la main-d'œuvre de la Grande-Région → <i>Start-ups</i> digitales	→ Renforcer l'attractivité de l'artisanat et de la poly-activité hybride face à la ↗ des besoins en travaux manuels → <i>Start-ups</i> physiques	→ Rester à la pointe de l'innovation dans le secteur des nouvelles technologies (<i>high-tech</i>, données, etc.) → Out-sourcing de tâches → <i>Start-ups</i> IA
4 <u>Concilier les transitions digitale, écologique et sociale</u>	→ Limiter l'empreinte écologique de l'innovation digitale → Limiter les déstabilisations issues des transitions pour la cohésion sociale	→ Limiter les déstabilisations issues des transitions pour la cohésion sociale	→ Limiter l'empreinte écologique de l'innovation digitale → Limiter les déstabilisations issues des transitions pour la cohésion sociale

SCÉNARIOS D'AVENIR ECO2050

BRIQUES STRATÉGIQUES ECO2050	SCÉNARIOS D'AVENIR ECO2050		
	SCÉNARIO 1 (S1) LA PERMANENCE DES TRANSITIONS	SCÉNARIO 2 (S2) LA SIMPLIFICATION ET LE RALENTISSEMENT	SCÉNARIO 3 (S3) L'INNOVATION TECHNOLOGIQUE SANS CHANGEMENT COMPORTEMENTAL
5 <u>Investir dans la redondance critique, le stockage stratégique et les solutions dédoublées</u>	→ Assurer la continuité des fonctions élémentaires pour une économie et population croissantes → Parer à la $\nearrow$ des risques physiques et des tensions géopolitiques	→ Assurer la continuité des fonctions élémentaires pour une économie et population au ralenti → Améliorer la récupération face aux chocs biophysiques & socioéconomiques	→ Assurer la continuité des fonctions élémentaires pour une économie et population fortement croissantes → Parer à la $\nearrow$ des risques physiques et des tensions géopolitiques
6 <u>Simplifier les procédures, raccourcir les chemins, faciliter les transmissions</u>	→ Poursuivre les efforts face à une complexification croissante → Remédier à l'éparpillement urbain → <i>Friend-shoring</i>	→ Poursuivre les efforts face à une transformation hybride (ralentissement) → Décentralisation et ville de 15 min → <i>Near-shoring</i>	→ Poursuivre les efforts face à une compétition exacerbée entre systèmes (accélération) → Métropolisation → <i>Off-shoring</i>
7 <u>Diversifier l'économie en l'adaptant aux enjeux du futur</u>	→ Continuer la diversification dans les secteurs actuels	→ Spécialiser la diversification vers l'industrie et les services carbone et nature → Adapter les biens et services communs aux crises	→ Spécialiser la diversification vers l'industrie et les services carbone → Adapter les biens et services communs aux crises et les exporter
8 <u>Intégrer les nouveaux défis à la diplomatie économique</u>	→ Gérer l'incertitude internationale liée à la répartition des ressources rares, aux efforts de décarbonation → Prémunir la perte de compétitivité	→ Gérer l'incertitude internationale liée au rôle de l'économie → Prémunir le protectionnisme	→ Gérer l'incertitude internationale liée à la répartition des ressources rares, aux efforts de décarbonation & au rôle des multinationales (IA, etc.) → Prémunir les confrontations
9 <u>Assurer des finances publiques soutenables et solides</u>	→ Taxe carbone → <i>Future fund</i> → Place financière verte	→ Forte sollicitation du secteur public pour financer les transitions → Réalisation d'économies par la promotion de la santé, de l'environnement et du bien-être	→ Forte sollicitation du secteur privé pour financer les transitions → Taxation sur les services digitaux
10 <u>Tourner l'anticipation en avantage économique comparatif</u>	→ Identifier les pénuries de main-d'œuvre → le potentiel déstabilisateur des contraintes en ressources $\searrow$	→ Identifier les pénuries de main-d'œuvre → Anticiper les technologies (<i>low-techs</i>) de ruptures	→ Identifier les pénuries de main-d'œuvre → le potentiel déstabilisateur des contraintes en ressources $\searrow$ → Anticiper les technologies (<i>high-techs</i>) de ruptures

Figure 10. Les briques de la Vision et leurs origines dans chacun des 3 scénarios d'avenir économique possibles ECO2050

6. Prochaines étapes : utiliser la prospective pour renforcer la cohérence et la robustesse stratégiques

La Vision ECO2050 est une représentation du futur souhaitable, en anticipation des 3 scénarios de futurs possibles (présentation des scénarios au Chapitre III et Annexe 1). Ouverte, itérative et non-prescriptive, la Vision propose un cadre d'intervention convergent et cohérent, dans la mise en œuvre d'une ambition commune : une économie plus résiliente, inclusive et compétitive. Au-delà de cette ambition, les scénarios et la Vision fournissent **un espace prospectif public prêt à l'emploi**, que tout acteur national peut investir dans la conception de ses veilles, projections, stratégies, plans d'investissement ou politiques. Les tableaux de suivi des mégatendances, des stratégies sectorielles nationales ou des scénarios nationaux et internationaux complètent la gamme de produits prospectifs mis à disposition publique par Luxembourg Stratégie.⁸⁶

La Vision se concentre sur l'économie et sur son interaction avec les multiples transitions de notre époque. Elle dessine à long terme ce que les différentes stratégies du ministère de l'Économie définissent à plus brève échéance. Cependant, elle n'est pas un recueil des stratégies et politiques en place, puisque cela lui ôterait son caractère novateur et visionnaire, et puisque cela est fait ailleurs.⁸⁷ La Vision actualise et prolonge la partie prospective de la méthode initiée en 2015 au Luxembourg par l'étude stratégique TIR.

La Vision n'est pas une stratégie opérationnelle avec des objectifs quantifiés. La Vision ne dit pas ce que l'avenir doit être, mais ce que l'avenir pourrait être, en anticipation des 3 scénarios, si les acteurs économiques s'en donnent les moyens. Elle est fondée sur l'observation de mégatendances et la mise en commun d'imaginaires collectifs. Elle ne part pas d'un diagnostic quantifié de l'économie, de projections macro-économiques de son état futur, d'une évaluation préalable des stratégies existantes ou d'une revue de la littérature. Aucun calcul n'a été effectué spécifiquement pour la Vision. À l'issue du processus prospectif collaboratif, la prise en compte des expertises internes au ministère de l'Économie, des commentaires des autres ministères et partenaires, d'études sectorielles, de projections macro-économiques et de publications scientifiques existantes sont venues étayer les orientations thématiques, le caractère systémique et pluridisciplinaire de la Vision et la robustesse des hypothèses sur lesquelles elle s'appuie.

Les signaux faibles ou tendances émergents répertoriés, les chiffres explorés, les idées, hypothèses ou concepts nouveaux avancés dans la Vision ne sont pas créés ex nihilo. Ils sont le fruit d'un travail fouillé d'*horizon scanning* (Glossaire) et de croisement approfondi de nombreuses publications et études prospectives, avec un accent mis sur les plus récentes afin de capter les dernières perspectives. Ceci donne lieu, par souci de transparence, à un corpus détaillé de références en notes de bas de page.

Ainsi, une double clé de lecture de la Vision est possible :

- Une lecture plus « visionnaire et conditionnelle », sans recours aux notes de bas de page
- Une lecture plus terre à terre, extrapolant les enseignements de signaux déjà perçus et de tendances déjà documentées, renseignées en notes de bas de page

Enfin, un travail de cartographie prospective illustrant l'évolution hypothétique de la localisation des activités économiques futures sur le territoire au cours des 27 années à venir a été préparé (voir cartes des activités économiques en 2023 et 2050, au tout début et à la toute fin du présent rapport) et les incidences territoriales potentielles de la Vision ont été caractérisées en tenant compte des préceptes du Programme Directeur d'Aménagement du Territoire (PDAT2035/2050) (Annexe 7).

⁸⁶ Luxembourg Stratégie (2022), Tableaux de suivi prospectifs. Ministère de l'Économie

⁸⁷ Voir p.ex. le Programme National de Réforme (PNR) 2022, qui dresse le bilan des réponses politiques apportées aux grands défis économiques et sociaux rencontrés par le pays.

L'exercice prospectif a mené à une vision exploratoire en 10 axes, ou **10 briques pour édifier ECO2050**. Chaque brique se justifie par rapport aux scénarios d'avenir plausible (Figure 10). Les briques sont liées entre elles et se renforcent les unes les autres (**cohérence interne**) : p.ex. la circularité contribue à une meilleure autosuffisance matérielle ; l'efficacité et la sobriété complètent le progrès technique ; les transitions sont une opportunité pour une meilleure motivation au travail.

Cohérence interne entre les 10 briques composant la Vision ECO2050

Loin d'être indépendantes les unes des autres, les briques interagissent en tissant un véritable réseau. L'amélioration de l'autonomie stratégique s'associe avantageusement à l'application de la sobriété ou l'investissement dans la redondance et le stockage critiques, puisque le renouvellement de la production nationale, l'adaptation de pratiques circulaires et la diversification des approvisionnements réduisent la dépendance aux importations tout en minimisant l'empreinte écologique.

Placer l'humain et les savoirs au cœur de l'économie stimule la conciliation des transitions digitale, écologique et sociale dans la mesure où investir dans l'éducation et l'innovation prépare la main-d'œuvre et l'industrie à relever les défis de demain. Se doter d'une stratégie de diplomatie économique durable soutient l'ambition d'améliorer l'autonomie ouverte du Luxembourg en sécurisant ses partenariats en matière d'économie et de technologie vertes.

Enfin, assurer la soutenabilité des finances publiques et anticiper les transitions renforcent chacune des autres briques puisque celles-ci exigent des investissements importants, en bonne intelligence des secteurs et défis émergents.

Les modèles économiques basés sur la circularité et la sobriété facilitent la conciliation des transitions digitale, écologique et sociale. En effet, toute diminution des besoins en matières premières réduit la pression sur les écosystèmes et l'ampleur des transitions sociétale, organisationnelle et industrielle à atteindre.

Au titre de la **cohérence externe**, grâce à la représentation des différents ministères dans les instances de Luxembourg Stratégie (Annexe 6), de solides liens ont pu être créés avec les engagements internationaux et européens ainsi que les politiques et lois nationales qui orientent le développement national pour les prochaines décennies et qui ont une incidence sur l'économie. Les différentes briques de la Vision se combinent de multiples manières pour faciliter l'atteinte des Objectifs de Développement Durable (ODD), déclinés dans le Plan National pour un Développement Durable (PNDD 2030), de neutralité carbone, de promotion des énergies renouvelables, d'efficacité énergétique (PNEC 2030)⁸⁸ de protection de la biodiversité et du cycle de l'eau et d'adaptation au changement climatique (PNPN3 2030), de mobilité durable (PNM2035) et de réduction progressive de l'artificialisation des sols (PDAT 2035/2050).⁸⁹ Toutefois, la Vision ne se contente pas seulement de faciliter la matérialisation du cadre législatif et stratégique existant. Si elle met en évidence les **synergies** à exploiter, elle montre aussi certains dilemmes et **antagonismes** (p.ex. entre digitalisation ou implantations nouvelles et respect des limites biophysiques, entre financements des systèmes de retraites et de la sécurité sociale et des transitions) et dessine certaines voies nouvelles permettant de les surmonter (Figure 11).

88 Les objectifs pour 2030 du Plan National intégré en matière d'Énergie et de Climat (PNEC) mis à jour en juillet 2023 sont :

- Réduire de 55% les émissions de GES par rapport à 2005 (pour les secteurs qui ne sont pas couverts par le système européen d'échange de quotas d'émission)
- Atteindre 37% d'énergies renouvelables dans la consommation finale (en augmentation par rapport aux 25% dans le PNEC précédent)
- Améliorer l'efficacité énergétique de 44% (fourchette de 40-44% dans le PNEC précédent)

89 PNPN : Plan National de Protection de la Nature ; PNM : Plan National de Mobilité ; PDAT : Programme Directeur d'Aménagement du Territoire

PLANS NATIONAUX

BRIQUES ECO2050	TIR2050	PNDD2030 (ODD)	PNEC2030/2050 ⁹⁰	PDAT2035/2050
1 <u>Améliorer l'autonomie stratégique ouverte pour renouveler la production nationale</u>	→ Eolien, solaire, biomasse, biogaz, géothermie, pompes à chaleur → Efficience/ Stockage → Sécurité approv. énergie → Energies agricoles	→ Diversifier et assurer une économie inclusive et porteuse d'avenir (PNDD4) → Arrêter la dégradation de notre environnement et respecter les capacités des ressources naturelles (PNDD7)	→ Efficacité énergétique, → Sécurité approv. énergie → Innovation, compétitivité et recherche → PV, biogaz, géothermie, H₂ vert, pompes à chaleur → Aides à la transition → Accords volontaires et audits énergétiques	→ artificialisation des sols ↘ → Développement aux endroits appropriés → Préservation des ressources naturelles
2 <u>Déployer la circularité et la sobriété à toute l'économie</u>	→ Construction durable, passive → Formations circulaires → Banques de données des matériaux	→ Promouvoir une consommation et une production durables (PNDD3)	→ Économie circulaire → Changement de modes de vie → Matériaux géo et bio sourcés	→ ZAE circulaire & dense → Sobriété foncière → Multi-étages & multi-usages
3 <u>Placer l'humain, les savoirs et le bien-être au cœur de l'économie</u>	→ Autoconsommation énergie → Mobilité comme service → Limiter le besoin de mobilité (sobriété) → Travail flexible, <i>coworking</i> → Start-ups éco-innovants → STEM → Modèles d'affaires innovants (dont agricoles) → Économie du partage	→ Assurer une inclusion sociale et une éducation pour tous (PNDD1)	→ Formation aux transitions → STEM	→ Expérimentation et projets pilotes → Cohésion socio-territoriale
4 <u>Concilier les transitions digitale, écologique et sociale</u>	→ Internet de l'énergie	→ Arrêter la dégradation de l'environnement et respecter les capacités des ressources naturelles (PNDD7)	→ <i>Datacentres</i> sobres	→ Neutralité carbone
5 <u>Investir dans la redondance critique, le stockage stratégique et les solutions dédoublées</u>	→ Stockage énergie	→ Protéger le climat, s'adapter au changement climatique et assurer une énergie durable (PNDD8)	→ Stockage énergie	→ Résilience territoriale → Infrastructures vertes

90 MECDD (2023), *Mise à jour du Plan National intégré en matière d'Énergie et de Climat*. Présentation aux ministres, 23 mars 2023. Il s'agit ici des nouvelles mesures et mesures renforcées par rapport au PNEC 2020. En gras les 5 dimensions du PNEC 1 et 2 : décarbonation (y compris énergies renouvelables) ; efficacité énergétique ; sécurité de l'approvisionnement énergétique ; marché intérieur de l'énergie ; innovation, compétitivité et recherche.

PLANS NATIONAUX

BRIQUES ECO2050	TIR2050	PNDD2030 (ODD)	PNEC2030/2050 ⁹⁰	PDAT2035/2050
6 <u>Simplifier les procédures, raccourcir les chemins, faciliter les transmissions</u>	→ Smart district → Multi-modalité → Pistes cyclables → Aménagement urbain		→ Ville de 15 minutes → Transport bas-carbone, léger, collectif → Procédures à supprimer, réduire, accélérer ou faciliter → Contrats pour différence/long-terme → Harmonisation des règles urbanistiques → Marché intérieur de l'énergie → Génération d'énergie renouvelable en GR et UE	→ Ville de 15 minutes → Transport bas-carbone, léger, collectif → Coopération et gouvernance transfrontalières
7 <u>Diversifier l'économie en l'adaptant aux enjeux du futur</u>	→ Innovation technologique → Électrification mobilité → Logistique → Smart grid → Rénovation énergétique → Robotique, réalité augmentée, internet des objets → Product as a service → Automotive campus et voiture autonome → High performance computer → Agriculture bio et énergétique	→ Assurer les conditions d'une population en bonne santé (PNDD2) → Diversifier et assurer une économie inclusive et porteuse d'avenir (PNDD4) → Arrêter la dégradation de notre environnement et respecter les capacités des ressources naturelles (PNDD7) → Protéger le climat, s'adapter au changement climatique et assurer une énergie durable (PNDD8)	→ Décarbonation → Infrastructures vertes, agroforesterie, gestion durable forêts → Bois local de construction → Rénovation énergétique → Electrification mobilité → Fret et logistique bas-carbone → Conséquence du réchauffement sur la santé/ l'agriculture → Monitoring émissions et efficacité	→ Neutralité carbone → Infrastructures vertes → Préservation des ressources naturelles → Sobriété foncière → Expérimentation
8 <u>Intégrer les nouveaux défis à la diplomatie économique</u>		→ Contribuer, sur le plan global, à l'éradication de la pauvreté et à la cohérence des politiques pour le développement durable (PNDD9)	→ Négociations climat et biodiversité	
9 <u>Assurer des finances publiques soutenables et solides</u>	→ Investissements TIR : +/- 2%PIB/an pendant 35 ans → Fintech → Économie numérique → Microfinance	→ Garantir des finances durables (PNDD10)	→ Taxation carbone → Finances durable et carbone → Bonification d'intérêt & ↘ du risque d'investissement carbone	→ Anticiper facilite l'efficacité des finances publiques
10 <u>Tourner l'anticipation en avantage économique comparatif</u>	→ Veille technologique			→ Prospective territoriale

Figure 11. Tableau d'alignement entre différentes planifications nationales à long-terme

Les 3 scénarios et la Vision ECO2050 correspondante permettent au ministère de l'Économie de renforcer la **cohérence des stratégies** économiques existantes et nouvelles. Au-delà de 12 stratégies économiques existantes, ECO2050 tient aussi compte des autres **stratégies sectorielles nationales existantes** (Figure 12). En tout le Luxembourg dispose d'une 50aine de stratégies à plus ou moins long-terme, rédigées par des experts du domaine respectif dans un but de générer une dynamique et d'améliorer la planification sectorielle.

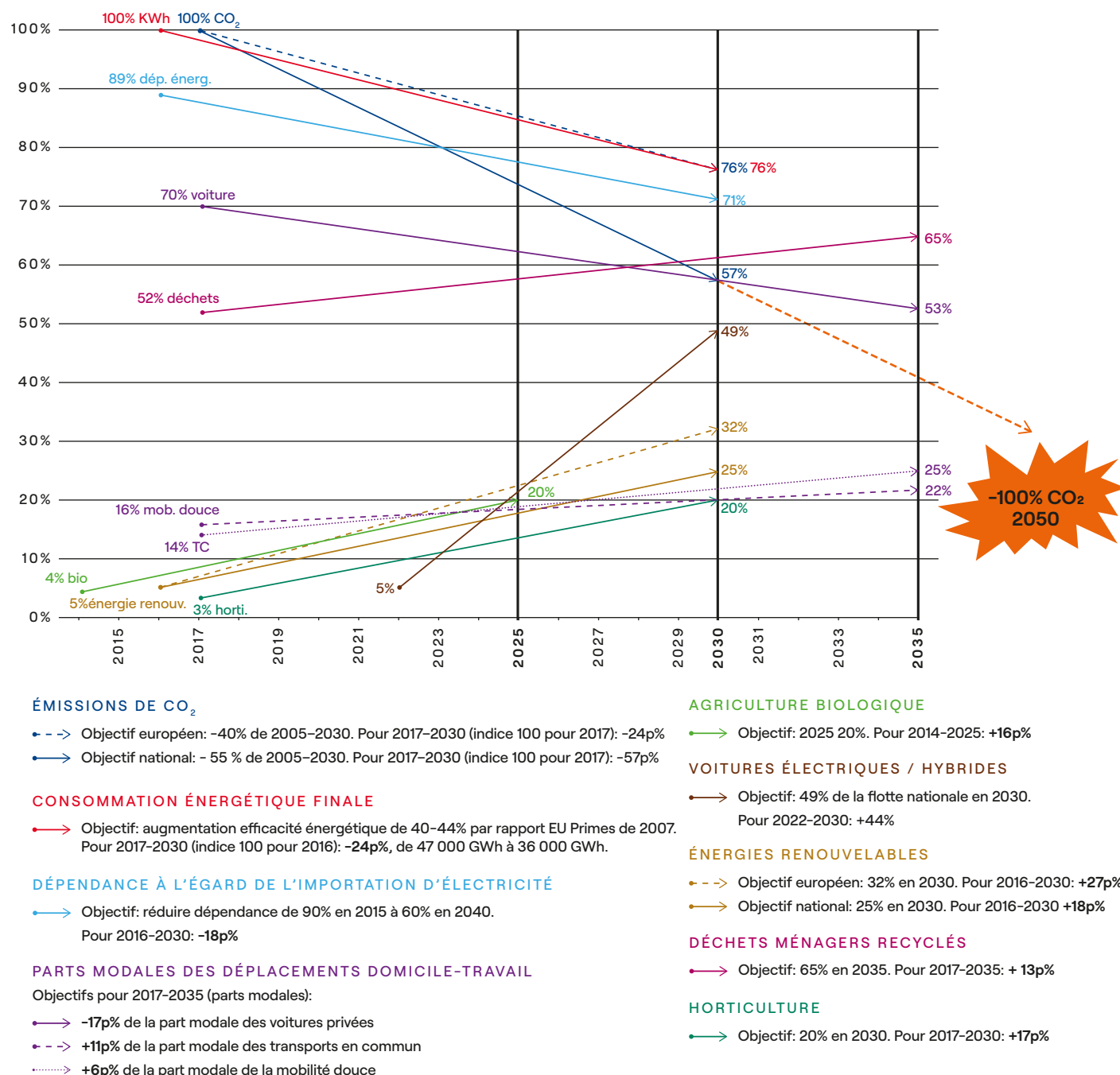


Figure 12. Les cibles quantifiées des stratégies sectorielles adoptées au Luxembourg (2021)⁹¹

Les 3 scénarios et la Vision ECO2050 peuvent constituer une aide pour tous les ministères dont les stratégies interagissent avec l'économie, ou toutes les entreprises qui définissent et actualisent leurs propres stratégies (voir les participants au processus ECO2050, Annexe 6). Il serait dans l'intérêt général de constater si les différentes stratégies peuvent fonctionner ensemble dans un

91 Luxembourg Stratégie propose un inventaire et une caractérisation des plus de 50 stratégies sectorielles nationales, afin de faciliter leur mise en œuvre cohérente. Luxembourg Stratégie (2022) Tableaux de suivi prospectif : les stratégies nationales. Ministère de l'Économie.

monde aux ressources limitées. Les scénarios peuvent être utilisés afin d’asseoir si une politique ou stratégie proposées sont robustes dans une gamme de futurs plausibles. La Vision progresse dans différentes directions, se veut organique et en amélioration continue. Les initiatives stratégiques futures qui prendront la Vision pour cadre, pourront à leur tour la renforcer mais aussi l’élargir et l’approfondir. Les scénarios et la Vision peuvent servir à éprouver la robustesse, à *stress-tester* les stratégies sectorielles existantes et à les développer. Pour chaque politique ou stratégie futures, les questions pouvant être posées sont :

- Est-elle robuste quel que soit le scénario d’avenir ?
- En quoi est-elle cohérente avec la Vision stratégique économique ?
- Partage-t-elle les mêmes hypothèses ?
- Rentre-t-elle dans le budget des ressources biophysiques disponibles ?
- Répond-elle aux attentes de protection sociale de la population ?
- Dans quelle mesure précise-t-elle, mais aussi étend-elle, la portée de la Vision ?
- En quoi met-elle en évidence certaines insuffisances de la Vision qu’il conviendrait de combler ?

Il relève notamment de la mission de Luxembourg Stratégie de soutenir les acteurs économiques qui souhaitent définir ou actualiser leurs propres stratégies à la lumière de ECO2050. Au-delà de l’usage des scénarios et de la Vision ECO2050 par d’autres instances et indépendamment de leur finalité initiale, d’autres méthodes prospectives peuvent être utiles aux entreprises, pouvoirs publics, collectivités territoriales ou individus. Quelques exemples sont ([voir aussi le glossaire](#)).⁹²

- **Forecasting (prévoir)** : mieux cerner les technologies, compétences ou comportements du futur pour informer un investissement ou stratégie d’aujourd’hui.
- **Horizon Scanning (veille prospective)** : surveiller et analyser les tendances émergentes, les signaux faibles et les développements potentiels pour renforcer l’approche systémique et anticiper les risques et innovations.
- **Black Swans (cygnes noirs)** : provisionner pour la prochaine disruption qui remettra en question les certitudes actuelles et perturbera considérablement les prévisions et les plans. (Le cygne noir conçu dans le cadre de ECO2050 s’intitule « Reine rouge », voir [Annexe 2](#).)
- **What if** : poser des questions du type « et si » afin d’explorer les conséquences potentielles d’événements ou de décisions hypothétiques pour mieux anticiper ses résultats et rendre adaptatives ses stratégies.⁹³
- **Visioning (élaboration de vision) / Incasting (scénario d’intériorisation)** : utiliser la Vision ECO2050 pour aligner les actions et décisions actuelles avec les objectifs de long terme vers un avenir souhaité. En intégrant les perspectives des acteurs clés, les stratégies deviennent plus réalistes et convaincantes.
- **Windtunneling (test de résistance)** : utiliser les scénarios ECO2050 pour évaluer comment ses décisions stratégiques se comporteraient face à des conditions extrêmes ou des changements majeurs.
- **Backcasting (rétroprojection)** : définir un objectif futur, puis déterminer et cadencer les trajectoires, actions concrètes, ressources, délais et étapes préalables nécessaires pour l’atteindre.
- **Causal layered analysis (analyse en couches causales)** : examiner en groupe différentes couches de compréhension (culturelle, symbolique, etc.) pour stimuler un changement de valeur ou de vision du monde, condition sine qua non d’une véritable transformation.
- **Études prospectives** : entreprendre une étude sur l’évolution probable de tel ou tel paramètre ou thème. Luxembourg Stratégie met à disposition une matrice des risques physiques et un plan d’adaptation de l’économie (étude RISK2050), ainsi qu’une analyse des points de basculement déterminants les transitions nationales sociales au Luxembourg (étude SOC2050).⁹⁴

⁹² Luxembourg Stratégie (2023) [Glossaire](#), Ministère de l’Économie

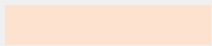
⁹³ Voir p.ex. la définition proposée par European Parliament Research Service (2023) [What if](#).

⁹⁴ Luxembourg Stratégie (2023) [Étude RISK2050](#), Ministère de l’Économie & Luxembourg Stratégie (2023) [Étude SOC2050](#), Ministère de l’Économie

La Vision offre ainsi un espace stratégique subsidiaire, suffisamment concret pour servir de cadre clair et stable aux acteurs économiques et suffisamment ouvert afin que chaque acteur et chaque filière puissent y déployer les moyens qui lui semblent adéquats afin d'arriver au but commun : faire notre mue en une génération.

Dans une prochaine étape, les incidences sur les comptes nationaux, socio-économiques et biophysiques pourront être simulés et compléter la modélisation macro-économique de la décarbonation effectuée par le STATEC dans le cadre du PNEC.

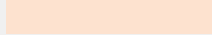
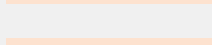
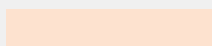
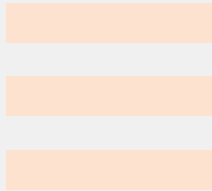
Enfin, il importe de préciser que la Vision ECO2050 n'est pas un travail figé, qui s'achève avec sa publication. Plutôt s'agit-il d'un document vivant qu'il convient de revisiter et d'adapter régulièrement, au gré des multiples évolutions internes et externes qui l'influencent.



I La méthode



II La **Vision**



III Les scénarios



IV Les annexes

II. La Vision ECO2050

1. Améliorer l'autonomie stratégique ouverte pour renouveler la production nationale 54

- A. Evaluer et hiérarchiser le potentiel d'autonomie stratégique ouverte. 56
- B. Préserver la base biophysique pour produire plus localement. 57
- C. Accélérer les transitions des secteurs productifs intenses en ressources vers des régimes plus sobres. 62
- D. Sécuriser et diversifier l'approvisionnement élémentaire 63

2. Déployer la circularité et la sobriété à toute l'économie 66

- A. Accélérer et généraliser la mise en œuvre des stratégies circulaires existantes 69
- B. Réduire l'empreinte foncière et matérielle de l'économie en économisant, densifiant et recyclant 71
- C. Développer et structurer les filières circulaires, innover et substituer les matières 73

3. Placer l'humain, les savoirs et le bien-être au cœur de l'économie (innovation sociale, sociétale et organisationnelle). 76

- A. Bâtir la nouvelle génération de main-d'œuvre apte à mener les transitions. 78
- B. Combiner les savoirs anciens et nouveaux, les compétences *high-* et *low-tech*, la culture scientifique et le multilinguisme 80
- C. Promouvoir de nouveaux modèles d'affaires et de management (innovation organisationnelle). 82

4. Concilier les transitions digitale, écologique et sociale. 86

- A. La digitalisation responsable – réduire son empreinte écologique et privilégier des usages vertueux 88
- B. La digitalisation responsable – renforcer la société, réduire les coûts, consolider la démocratie. 91
- C. La digitalisation responsable – assurer la souveraineté nationale 93

5. Investir dans la redondance critique, le stockage stratégique et les solutions dédoublées. 96

6. Simplifier les procédures, raccourcir les chemins et faciliter les transmissions 104

- A. Simplifier les procédures 105
- B. Raccourcir les chemins 107
- C. Faciliter les transmissions 110

7. Diversifier l'économie en l'adaptant aux enjeux du futur 112

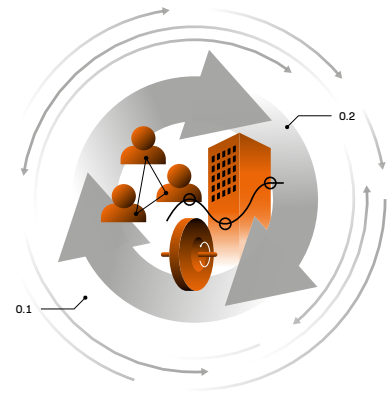
- A. Se spécialiser en industries et services carbone, opportunité d'affaires et création de bien commun. 116
- B. Adapter l'alimentation aux nouveaux défis, opportunité d'affaires et création de bien commun 123
- C. Adapter la santé aux nouveaux défis, opportunité d'affaires et création de bien commun 124

8. Intégrer les nouveaux défis à la diplomatie économique 128

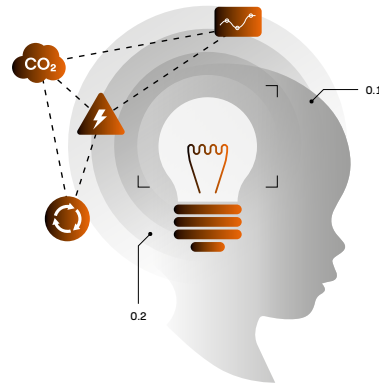
9. Assurer des finances publiques soutenables et solides 134

10. Tourner l'anticipation en avantage économique comparatif 140

Le résultat de l'initiative prospective consultative ECO2050 est une vision stratégique articulée en 10 briques. Ces 10 briques, mutuellement bénéfiques et réciproquement habilitantes, sont construites autour de principes à l'épreuve de l'avenir (*future-proof*). Ainsi la Vision souligne que l'innovation technologique a été et restera un facteur clé du dynamisme et de l'attractivité de l'économie luxembourgeoise. Elle ajoute que le changement comportemental est également nécessaire et que les deux sont complémentaires pour renforcer l'économie. Selon les principes de redondance et de précaution, les solutions digitales *high-tech* et manuelles *low-tech* se complètent, tout comme les infrastructures vertes et grises ou l'atténuation et l'adaptation climatiques. D'autres principes vertueux dans tous les scénarios sont : l'autonomie, l'efficacité, la sobriété, le bien-être, la transmission, la cohésion, la régénération, la circularité, la proximité et la préférence pour l'utilisation des ressources présentes sur le territoire, la simplification, la diplomatie, le multilatéralisme et l'anticipation. Les 10 briques de l'édifice ECO2050 sont énumérées et illustrées ci-contre, puis détaillées dans les pages qui suivent :

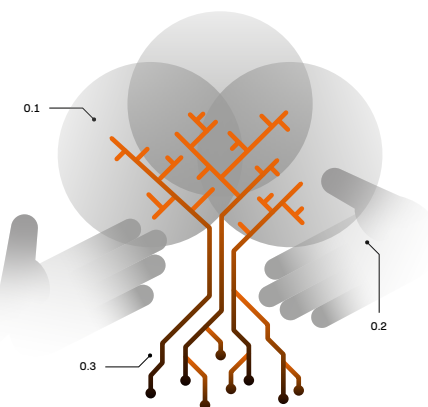


#2 Déployer la **circularité** et la **sobriété** à toute l'économie

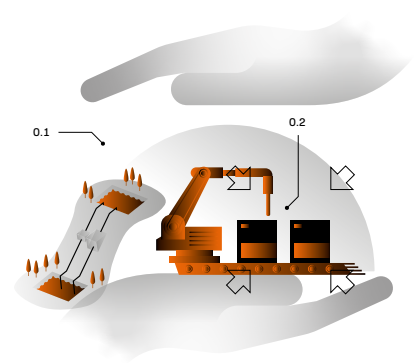


#3 Placer l'**humain**, les **savoirs** et le **bien-être** au cœur de l'économie

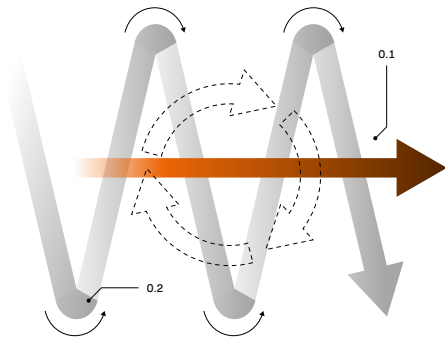
#1 Améliorer l'**autonomie** stratégique ouverte pour renouveler la **production** nationale



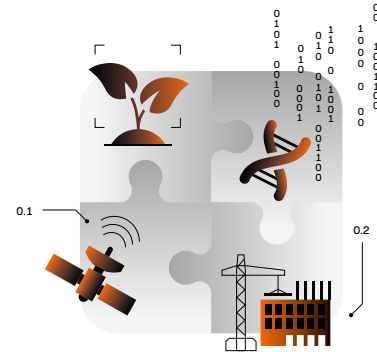
#4 Concilier les **transitions** digitale, écologique et sociale



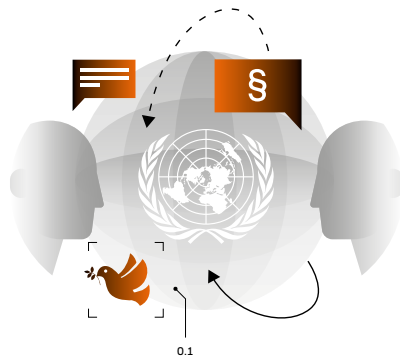
#5 Investir dans la **redondance** critique, le **stockage** stratégique et les solutions dédoublées



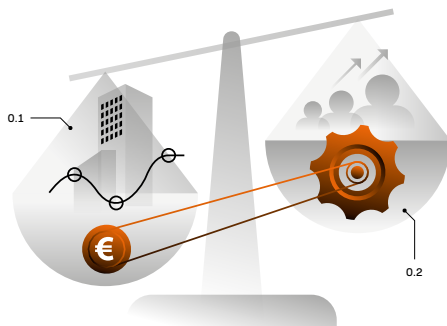
#6 Simplifier les **procédures**, raccourcir les **chemins**, faciliter les **transmissions**



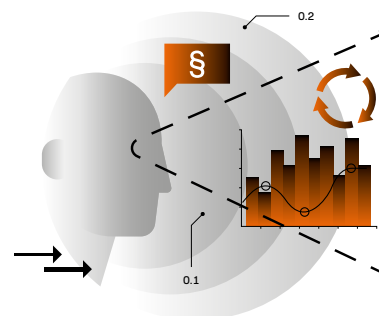
#7 Diversifier l'économie en l'adaptant aux enjeux du futur



#8 Intégrer les nouveaux défis à la **diplomatie économique**



#9 Assurer des **finances publiques** soutenables et solides



#10 Tourner l'**anticipation** en avantage économique comparatif



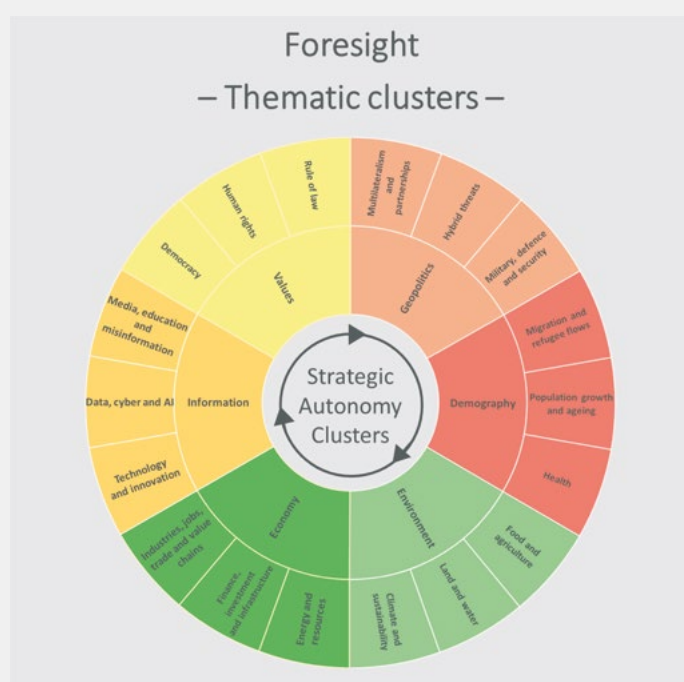
#1

Améliorer l'autonomie
stratégique ouverte pour
renouveler la **production**
nationale

Compte tenu de l'incertitude caractérisant les multiples transitions et les vulnérabilités des chaînes d'approvisionnement dans un contexte de tensions économiques et politiques internationales, une économie moins dépendante des importations et des chocs sur les marchés internationaux est un atout pour réussir les transitions.

La crise COVID-19 nous a montré l'importance de disposer des ressources et activités essentielles, y compris leurs chaînes d'approvisionnement, sur le territoire national, régional et européen. La quête post-COVID-19 pour plus d'autonomie et de sécurité d'approvisionnement n'est pas propre au Luxembourg, mais est reflétée dans de nombreux scénarios d'avenir économique⁹⁵ (voir Chapitre III et Annexe 3) et constitue la politique officielle de l'UE:

EXEMPLE : EU STRATEGIC OPEN AUTONOMY



The 360° strategic autonomy wheel

illustrates policy areas in which the EU aims at more strategic autonomy, as well as the links between them. The wheel can help to understand links, set priorities and view potential conflicts. More autonomy in the digital green economy will, for example, require vast quantities of 'rare earth' materials, making the EU more (instead of less) dependent on imports. Reductions in energy consumption achieved through digitalisation of the economy (for example by reducing transport) will be partly offset by the increase of energy consumption by electronic devices and data centres. The wheel cannot solve such dilemmas, but can help to identify them.

Source: EU Strategic Autonomy Monitor, European Parliament, July 2022

La Commission européenne a récemment publié sa proposition de règlement établissant un cadre pour garantir un approvisionnement sûr et durable en matières premières pour soutenir les transitions écologique et numérique et renforcer la **résilience** de l'UE. La dimension réglementaire pourrait s'articuler autour de 4 piliers principaux :

- Définir les priorités et les objectifs des actions de l'UE
- Améliorer la surveillance, la gestion des risques et la gouvernance de l'UE en ce qui concerne les matières premières critiques
- Renforcer la chaîne de valeur des matières premières critiques de l'UE (extraction, raffinage, transformation, recyclage) dans un contexte mondial
- Garantir des conditions de concurrence équitables et durables dans l'ensemble du marché unique

A cela s'ajoute sa proposition de règlement établissant un cadre pour renforcer une industrie « zéro net » (*Net Zero Industry Act* (NZIA)). Le règlement vise à améliorer la **résilience et la compétitivité** de la production de technologies « zéro net » dans l'UE et à rendre le système énergétique plus sûr et plus durable, l'objectif étant que la capacité de production globale des technologies « zéro net » stratégiques de l'Union se rapproche ou atteigne au moins 40% des besoins de déploiement de

95 Shell Global (2023), *The Energy Security Scenarios*

#1 Améliorer l'autonomie stratégique ouverte pour renouveler la production nationale

l'Union d'ici à 2030. S'il est approuvé, le règlement permettrait également d'accélérer les progrès concernant la réalisation des objectifs de l'UE en matière de climat et d'énergie à l'horizon 2030 ainsi que la transition vers la neutralité climatique, tout en stimulant la compétitivité de l'industrie européenne, en créant des emplois de qualité et en soutenant les efforts de l'UE pour devenir indépendante sur le plan énergétique.

L'environnement des affaires risque de devenir de plus en plus compétitif, l'avantage revenant aux pays pourvus de ressources et offrant les prix de l'énergie les plus attractifs. Dans ce contexte, comment améliorer l'autonomie matérielle et énergétique de la production nationale tout en maîtrisant ses coûts ? Quels secteurs ou quelles ressources présentent le plus grand intérêt stratégique ou le plus haut potentiel de substitution des importations par rapport aux forces et aux besoins de l'économie luxembourgeoise ? Comment une petite nation avec de faibles ressources propres peut-elle se positionner en Europe dans ce qui devient de plus en plus une course mondiale pour les ressources rares et l'énergie sûre, durable et abordable (*energy trilemma* : *security, sustainability, affordability*) ?

Pour réussir les transitions, il y a besoin d'une **industrie forte**⁹⁶ et d'une relative souveraineté technologique et matérielle, ainsi que d'une bonne insertion dans les chaînes de valeur internationales. Les **industriels et les artisans**, historiquement présents, nouvellement établis ou à attirer, devront être en capacité de fournir des biens et services nécessaires aux transitions, en produisant les outils, pièces, composants, procédés et technologies bas-carbone et efficaces, pour le marché national et l'exportation. Or, l'OCDE constate que la croissance de la production est en berne en zone OCDE depuis les années 1970.

En alignement avec les réglementations européennes en cours sur le renforcement d'une industrie décarbonée, l'indépendance énergétique et l'approvisionnement en matières premières critiques, le Luxembourg **réussira les transitions à travers la relance de la production industrielle et artisanale** et l'atténuation de ses dépendances. Cela peut passer par les leviers suivants :

- A. **Evaluer et hiérarchiser** les secteurs pour lesquels une plus grande autonomie est possible
- B. **Préserver la base biophysique** pour produire plus durablement et localement
- C. **Accélérer les transitions** des secteurs productifs intenses en ressources
- D. **Sécuriser et diversifier** l'approvisionnement élémentaire de la production

A. Evaluer et hiérarchiser le potentiel d'autonomie stratégique ouverte

Le Luxembourg, économie ouverte et connectée, connaît un faible degré d'autonomie stratégique et dépend pour ses besoins essentiels des importations. L'autonomie stratégique liée aux approvisionnements n'est pas l'autarcie. C'est la capacité à assurer la continuité de nos activités, à minima celles qui sont essentielles, même si un ou plusieurs fournisseurs majeurs viennent à faire défaut pour une raison ou une autre (différend géopolitique, protectionnisme, pandémie, guerre, raréfaction des ressources, pollution, etc.).

Connaître avec plus de précision le potentiel d'auto-approvisionnement et de production locale (TIR) pour les domaines essentiels (énergie, ressources, terrains, eau, alimentation) permettrait de savoir jusqu'où il est possible de circonscrire la dépendance. Pour donner l'exemple de la production alimentaire, le Luxembourg peut s'enorgueillir de pouvoir couvrir intégralement ses besoins en produits laitiers et en viande bovine ou de produire 60% de ses besoins en viande porcine.

96 Pierre Pailler (2023), *Franz Fayot, de la résilience à la relance*. Paperjam 17.07.21

Pour délimiter les besoins essentiels d'intérêt particulier dans le cadre d'une plus grande autonomie, la pyramide des besoins de Maslow fournit selon le *EU Strategic Autonomy Monitor* un outil intéressant : la plupart des domaines se retrouve dans le bas de la pyramide et concerne les besoins et intérêts de base, tels que l'accès à l'eau et à l'alimentation, au logement et aux services de santé, à la sécurité et à la défense, pour lesquels l'énergie, les ressources et la surface sont indispensables.

Maslow's hierarchy of needs	Areas of strategic autonomy
 Self-actualization desire to become the most that one can be Esteem respect, self-esteem, status, recognition, strength, freedom Love and belonging friendship, intimacy, family, sense of connection Safety needs personal security, employment, resources, health, property Physiological needs air, water, food, shelter, sleep, clothing, reproduction	EU identity, autonomous democratic federation, global role model EU as a normative power, values EU multilateralism/partnerships EU military security EU economic independence (supply chains) EU health security; EU energy security; EU food and water security

Figure 13. L'autonomie stratégique comparée à la pyramide de Maslow, EU Strategic Autonomy Monitor, 2022⁹⁷

D'autres biens essentiels pour les entreprises sont les semi-conducteurs, les métaux rares, les batteries, les ingrédients pharmaceutiques actifs, etc.⁹⁸ Pour prendre l'exemple des semi-conducteurs, l'enjeu ne serait pas de produire en Europe l'ensemble des semi-conducteurs dont nous avons besoin, mais d'avoir la capacité de production suffisante pour les activités essentielles en cas de rupture des approvisionnements externes.

Dans l'évaluation du potentiel d'autonomie, il serait judicieux de considérer aussi le potentiel de relocalisation stratégique ou d'implantation d'activités nouvelles, objets du *Compatibilités-check* mis en place par le ministère de l'Économie. Ceci devrait se faire en veillant aux intérêts de l'industrie tout comme de celui de l'artisanat.

Le degré de contrôle étranger d'entreprises nationales est une autre facette de l'autonomie économique. Il est particulièrement marquant dans le secteur manufacturier avec 34% des entreprises, 52% de la valeur ajoutée brute et 53% des emplois détenus par des étrangers.⁹⁹

B. Préserver la base biophysique pour produire plus localement

Préserver les ressources naturelles de base est nécessaire pour produire plus localement et gagner en autonomie pour les approvisionnements élémentaires. Il s'agit de réduire les besoins en énergie, matériaux, espace et eau de la production et d'éviter la re-matérialisation. Cela passe par la réduction de leur consommation, la technologie et l'innovation. Diverses pistes peuvent être conjuguées :

- Accélérer l'**efficience** des processus industriels (TIR et PNEC)
- Augmenter la **productivité** des ressources et de l'énergie (TIR et PNEC)
- Cibler les programmes de **recherche** et développement (R&D) sur les gains en autonomie
- Se prémunir contre la **re-matérialisation**, l'**effet rebond** et l'**effet d'éviction**
- Mobiliser la **sobriété** dans les processus industriels et les comportements des consommateurs
- Ramener les **surconsommations** dans la moyenne européenne
- Investir dans la **régénération** des ressources naturelles nécessaire à la production
- Optimiser les ressources **présentes sur le territoire** (PDAT, Plateforme climat)
- Intégrer le **temps**, ressource limitée, dans les choix technologiques

97 European Parliament (2022), *EU strategic autonomy 2013-2023. From concept to capacity*, EU Strategic Autonomy Monitor

98 Commission Européenne (2021), *Examens approfondis des domaines stratégiques d'intérêt européen*, Stratégie Industrielle pour l'Europe

99 Eurostat (2023), *Foreign-controlled enterprises statistics - inward FATS*

#1 Améliorer l'autonomie stratégique ouverte pour renouveler la production nationale

Pour réduire l'offre en énergies fossiles, une priorité serait de réduire la demande en énergies fossiles. C'est ce que prévoyait aussi TIR pour 2050. La réduction des besoins est vertueuse pour l'autonomie mais aussi pour la transition énergétique et carbone, puisqu'en réussissant à maîtriser le volume d'énergie requise, moins d'énergie fossile devra être substituée par de l'énergie renouvelable et moins d'émissions devront être évitées pour atteindre la neutralité carbone, ce qui à son tour allège les budgets. Les politiques de baisse de la demande énergétique de l'UE et du Luxembourg (accord volontaire) avaient déjà porté leurs fruits avant les chocs énergétiques résultant de l'invasion de l'Ukraine. Actuellement le PNEC mis à jour prévoit une réduction supplémentaire de la consommation finale brute d'énergie de grosso modo 45.000 GWh en 2022 à 32.000 GWh en 2030 et 29.000 GWh en 2050.¹⁰⁰ En même temps, la production locale d'électricité est prévue d'augmenter et la dépendance des importations électriques est prévue de baisser, de 80% aujourd'hui à près de 60% en 2050.¹⁰¹

Ceci est d'autant plus remarquable que la population du Luxembourg continue à augmenter¹⁰² et que la transition énergétique elle-même sera gourmande en énergie et matières et intenses en investissements. Transformer notre système énergétique en l'électrifiant est lent et requerra massivement de nouvelles ressources matérielles et financières : construction d'éoliennes et de panneaux solaires, de centrales de base et de capacités de stockage, de véhicules électriques, d'électrolyseurs, de pompes à chaleur, de bateaux méthaniers (les bateaux hydrogéniers n'existent pas encore), de pylônes et lignes de haute tension, de batteries. Les panneaux solaires, pales d'éoliennes ou batteries demandent des quantités significatives de minéraux et métaux par unité de kWh générée ou stockée. En 2018 l'OCDE annonçait une augmentation du coût de la fourniture d'électricité par le fait de transiter des énergies pilotables aux énergies incertaines et variables.¹⁰³ France Stratégie confirme cette conclusion.¹⁰⁴ Bloomberg estime que pour atteindre la neutralité carbone, il faudra 152 millions de kilomètres de câbles de transmission, soit la distance moyenne entre la Terre et le Soleil.¹⁰⁵ Selon Slameršak, (2022), les besoins additionnels en énergie pour réussir la transition bas-carbone pourraient s'élever à 10 à 34% de l'énergie disponible à la société. La plupart des modèles utilisés négligeraient les investissements énergétiques liés à la construction et à l'exploitation des centrales électriques basées sur les énergies renouvelables, ainsi que les implications sur le système énergétique entier.¹⁰⁶

Sous l'effet combiné des transitions énergétique et digitale et de l'expansion de la construction, du transport individuel et de la consommation de biens, la demande en ressources matérielles et minérales est amenée à doubler d'ici 2060.¹⁰⁷ Pour atteindre l'Accord de Paris, la production de métaux pourrait être multipliée par 12 d'ici 2050.¹⁰⁸ Il s'agit ainsi d'éviter que la décarbonation ne rime pas avec augmentation nette des besoins matériels et énergétiques. L'OCDE et l'IEA invoquent aussi un risque de **re-matérialisation**, voire une **re-carbonation** de la génération d'énergie et donc

100 PNEC(1) de 2020, p. 181/207 et PNEC(2) mis à jour en 2023, présenté 26 mars 2023, MECDD. Projections du STATEC pour le PNEC(2): Par rapport aux projections faites pour 2030, le Luxembourg s'est fixé comme objectif de consommer 44% d'énergie finale en moins (revenant à un objectif de réduction de consommation finale d'énergie de 30% par rapport au niveau de 2005). ODC (2021), *Bilan de la compétitivité*. Ministère de l'Économie.

101 Laurent Braun et al. (2023) *Projections du STATEC pour le nouveau PNEC: Autres activités économiques*. STATEC, Mesurer et modéliser la transition écologique, 19.05.23

102 Le Luxembourg compte environ 640 000 habitants en 2021, avec un taux de croissance fulgurant dépassant les 2% entre 2011 et 2019 et une augmentation de la population de 250 000 personnes les 30 dernières années. En 50 ans, de 1970 à aujourd'hui, la population a quasi doublé.

103 OECD (2018), *The Full Costs of Electricity Provision*, p.17

104 Jean Pisani-Ferry et Selma Mahfouz (2023), *Les incidences économiques de l'action pour le climat*, France Stratégie

105 BloombergNEF (2023), *A power grid long enough to reach the sun is key to fight climate change*

106 Aljoša Slameršak et al. (2022), *Energy requirements and carbon emissions for a low-carbon energy transition*. Nature Communication 13, 6932

107 OCDE (2019), *Global Material Resources Outlook to 2060, Economic Drivers and Environmental Consequences*

108 Copper8 (2019), *Metal demand in the energy transition*

de la production de biens et services.¹⁰⁹ La transition rapide vers un système électrique 100% renouvelable à l'échelle mondiale d'ici 2060, pourrait conduire à une re-matérialisation substantielle de l'économie, exacerbant le risque de "peak materials".¹¹⁰

Malgré la prédominance du secteur tertiaire dans l'économie nationale, la **consommation intérieure de matières** est, avec 24 t/hab. (2020) de loin supérieure à la moyenne des pays de l'OCDE.¹¹¹ Comme l'extraction domestique de matière est très faible (4 t/hab.), l'écart est comblé par les importations, constituées principalement de matériaux de construction, de ferraille et d'autres produits métalliques.¹¹²

Après l'énergie et les matériaux, quelle est la situation au Luxembourg pour l'eau et les terrains, autres facteurs pouvant contraindre la production nationale ?

Pour ce qui est des **surfaces**, le Luxembourg est, avec 12,4% du territoire (2021), un des pays d'Europe les plus artificialisés.¹¹³ Entre 1990 et 2020, le volume bâti a doublé au Luxembourg.¹¹⁴ Il est aussi un des pays au prix les plus élevés de la ressource foncière et au rythme de construction le plus soutenu, sous l'effet de l'augmentation de la population et de la pénurie de logements. Le commerce et l'industrie utilisent directement 1,2% du territoire national et dépendent indirectement des infrastructures techniques et de transport qui, elles, en occupent 4%. Les utilisations économique, résidentielle, agro-sylvicole ou récréative du sol se retrouvent souvent en compétition. Le sol luxembourgeois est ainsi, plus qu'ailleurs, une ressource rare qui doit être gérée avec le plus grand soin (voir cartes des activités économiques en 2023 et 2050, au tout début et à la toute fin du présent rapport, ainsi que Annexe 7).¹¹⁵

En ce qui concerne l'**eau**, l'Europe continentale est en cours d'aridification.¹¹⁶ Le continent européen subit de plein fouet les effets du changement climatique : manque de précipitations résultant en sécheresses chroniques, vagues de chaleur avec l'été 2022 le plus chaud jamais enregistré, baisse des nappes phréatiques, recul des glaciers européens et de la glace polaire, risques de feux de forêts, augmentation de la température des eaux de surfaces, baisse de l'humidité du sol et du niveau de navigabilité des fleuves. En France, l'eau renouvelable disponible s'est réduite de 14% ces deux dernières décennies par rapport aux dix années précédentes et devrait encore décliner de 30% à 40% à l'horizon 2050. Et aucun des modèles scientifiques prospectifs « ne nous dit que la situation va s'améliorer ». ¹¹⁷ Les conséquences néfastes sur les systèmes productifs (énergie, industrie, logistique, alimentation) devront être intégrées dans la planification infrastructurelle à long terme.

Pour réussir les transitions, faut-il privilégier les technologies existantes et éprouvées ou nouvelles et à développer ? Le **temps** nécessaire au développement et à la commercialisation de nouvelles technologies, ainsi qu'à la reconfiguration des systèmes énergétiques, est souvent sous-estimé. Plusieurs décennies sont nécessaires pour qu'une technologie arrive à maturité.¹¹⁸ Il s'agit de jauger

109 "An energy system powered by clean energy technologies differs profoundly from one fuelled by traditional hydrocarbon resources. Building solar photovoltaic (PV) plants, wind farms and electric vehicles (EVs) generally requires more minerals than their fossil fuel-based counterparts. A typical electric car requires 6 times the mineral inputs of a conventional car, and an onshore wind plant requires 9 times more mineral resources than a gas-fired power plant. Since 2010, the average amount of minerals needed for a new unit of power generation capacity has increased by 50% as the share of renewables has risen.", IEA (2022), *The Role of Critical of Minerals in Clean Energy Transitions*, World Economic Outlook Special Report. OECD (2023), *Supply of critical raw materials risks jeopardising the green transition*. 11.04.23

110 Iñigo Capellán-Pérez et al. (2019), *Dynamic Energy Return on Energy Investment (EROI) and material requirements in scenarios of global transition to renewable energies*

111 OECD (2020), *Environnemental performance Luxembourg*. EEA (2019), *Europe's material footprint*. 8th Environment Action Programme.

112 Marco Bianchi et al. (2023), *Regional monitoring frameworks for the circular economy: implications from a territorial perspective*, European Planning Studies, 31:1, 36–54

113 Selon l'enquête européenne LUCAS de 2018, seule Malte dépasse le Luxembourg, l'artificialisation se situant sur le territoire de l'UE à 4,2% en moyenne. Eurostat (2018), *Occupation des sols - Comparaison européenne*. Enquête Lucas.

114 TVK et al. (2021) *Métriques du quotidien : matières et coalitions de l'alimentation et de la construction*. Luxembourg in Transition, TVK, premier pré-rapport, p.11

115 La somme des surfaces urbanisées et routières, c'est-à-dire les surfaces artificialisées, correspond, selon l'approche fonctionnelle de l'utilisation du sol, à 12,4% du sol luxembourgeois. DATer (2022), *Couverture et utilisation du sol au Luxembourg*. Ministère de l'Énergie et de l'Aménagement du territoire.

116 ECMWF (2022) *European State of the Climate*, Summary 2022

117 Martine Valo (2023), *Le plan « eau » d'Emmanuel Macron mise sur la sobriété et l'innovation technologique*, Le Monde, 21 mars 2023

118 Robert Gross et al. (2018), *How long does innovation and commercialisation in the energy sectors take? Historical case studies of the timescale from invention to widespread commercialisation in energy supply and end use technology*. Energy Policy, Volume 123, pp.682–699

#1 Améliorer l'autonomie stratégique ouverte pour renouveler la production nationale

prudemment entre technologies établies et technologies non encore développées. Vu le peu de temps pour réaliser les transitions, un équilibre devra être trouvé entre innovation et amélioration de technologies existantes. Le déploiement à grande échelle de technologies propres existantes, réparables et robustes, peut être un avantage vis-à-vis de la concentration sur le développement de nouvelles technologies.¹¹⁹

A côté de la question de la maturité des technologies, du point de vue des entreprises se posent aussi les questions de leur disponibilité sur le marché national ou européen, des coûts d'investissement, de la difficulté d'implémentation et de disponibilité de personnel formé, des opportunités d'innovation.

L'**effet rebond** consiste à consommer plus d'un bien ou service du fait qu'il soit devenu plus efficient. Chaque fois qu'une innovation nous permet de consommer en utilisant moins d'énergie ou de matière, nous avons tendance à augmenter notre consommation. Quand l'effet rebond est si fort qu'il annule les économies d'énergie ou de ressources apportées par une technologie, on parle du « **paradoxe de Jevons** ». Les effets sont directs quand les gains d'efficacité provoquent une réduction du prix de la ressource et par conséquent une hausse de sa demande : p.ex. à mesure que les voitures deviennent moins énergivores, je parcours plus de kilomètres. Parallèlement, les effets indirects surviennent quand les mêmes gains d'efficacité accroissent le pouvoir d'achat, qui se reporte sur d'autres produits dont l'impact environnemental peut être pire : p.ex. l'achat d'un véhicule plus lourd de type SUV. Cet *efficiency dilemma* s'exprime p.ex. par le fait que la consommation d'énergie primaire dans l'UE-27 ne change pas beaucoup, malgré une réduction rapide de l'intensité énergétique de l'économie.¹²⁰ Pour éviter ces conséquences imprévues, l'innovation et les avancées technologiques doivent donc être accompagnées d'autres mesures économique, sociale ou comportementale telles qu'une communication et une sensibilisation efficaces des citoyens, des instruments réglementaires et/ou une fiscalité appropriée pour être efficaces.¹²¹

L'appareil productif aura du mal à répondre à la fois à la demande de produits nouveaux pour les transitions et à la demande existante en biens conventionnels de consommation. Compte tenu de la rapidité souhaitée des transitions et des contraintes concernant les ressources naturelles et humaines, l'industrie risque de faire face à un **effet d'éviction** (*crowding out*). Des choix doivent être opérés, des arbitrages entre offre et demande doivent être faits et des priorités doivent être fixées ou revues.

Pour prémunir un **effet d'éviction** (Brique 1) et pouvoir libérer de l'énergie, des matières, de l'eau ou des surfaces pour la production de biens et services essentiels, d'autres productions peuvent être réduites. Il serait avisé de décourager l'usage de certains **biens et services non-essentiels**, voire superflus ou consommés de manière excessive lorsque ceux-ci sont à hautes empreintes écologiques. On peut penser à la surconsommation de produits qui nous rendent malades (*fast food*, boissons gazeuses sucrées, réseaux sociaux, produits chimiques, plastiques jetables, jeux vidéo immersifs), ou d'appareils qui remplacent ce que nous faisons à la main ou qui proposent des services dont nous n'avons pas besoin avant. On peut penser aussi au tourisme de masse en avion, à la *fast fashion*, aux aliments importés de contrées lointaines, aux produits de luxe, à certains emballages et ustensiles en plastiques à usage unique, aux terrasses chauffées, à l'étalement urbain, etc. Une façon pour créer des incitations négatives consiste à mieux informer le consommateur et à réglementer l'**obsolescence programmée Klima-Biergerrot** (KBR) de produits, le gaspillage alimentaire ou la publicité incitant à ces consommations.

119 Gaston Trauffer (2023), *What we can learn from the US Inflation reduction Act – Time to rethink EU Climate Policy*, FEDIL Echo 12.04.23.

120 EEA (2021), *The Jevons paradox for energy consumption in the EU-27, 1995-2019*.

121 Freire González (2022), *The Jevons Paradox and Rebound Effect: Are we implementing the right energy and climate change policies?* OECD Forum network

Re-matérialisation, effet rebond, effet d'éviction, surconsommation sont autant d'éléments amenuisant ou renchérissant la base physique de la production. Investir dans la préservation et **régénération** des ressources naturelles pourrait grandement réduire la pression sur ces ressources afin qu'elles puissent continuer à fournir l'appareil productif. Cette pression va s'amplifier avec les crises environnementales. Un nouveau besoin s'ajoute alors : **adapter ces ressources aux effets du dérèglement climatique et de l'érosion de la biodiversité.**

Face à ces contraintes, une baisse des besoins en ressources par la mobilisation de l'efficacité et de la sobriété, de l'innovation technologique, de la recherche appliquée, de l'augmentation de la **productivité** des ressources, peut être un **facteur de compétitivité** économique, de sécurité d'approvisionnement industriel et de viabilité de la transition énergétique. Or les **technologies et l'innovation** seules ne suffiront pas à atteindre les transitions.¹²² Un effort coordonné de **sobriété** est nécessaire, sans laquelle la relance de la politique industrielle risque de ne pas être finançable.¹²³

EXEMPLE : SOBRIÉTÉ EN INDUSTRIE

Limitation des biens et services produits et consommés à un niveau « suffisant » et non superflu. « Un ensemble de mesures et de pratiques quotidiennes qui évitent la demande d'énergie, de matériaux, de terre et d'eau, tout en assurant le bien-être humain pour tous dans les limites planétaires. » (GIEC, 2022)

« Une réduction de la consommation de ressources qui ne résulte pas de gains d'efficacité dans l'utilisation des ressources. »
(FRANCE STRATÉGIE, 2023)

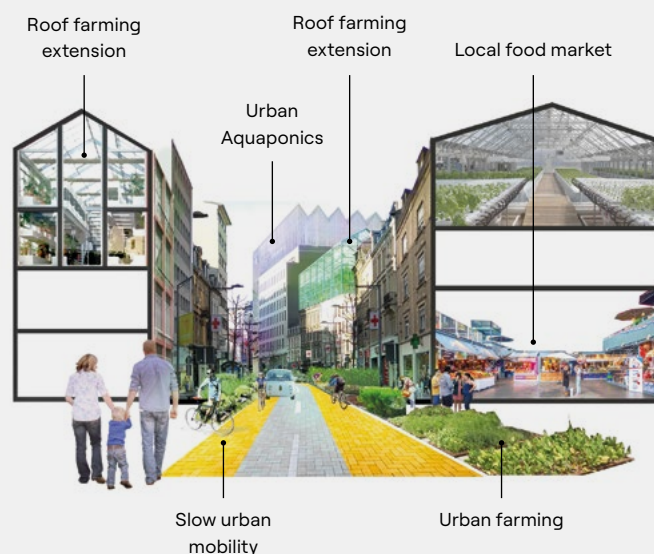
En industrie, cela peut vouloir dire:

- Baisse de la production de déchets, augmentation du taux d'**incorporation de matières secondaires**
- Développer le **"made in Luxembourg"**
- Produire moins de biens et services non-essentiels et plus de biens et services essentiels aux transitions
- **Rapprocher installations productrices et consommatrices de chaleur fatale**
- Dimensionnement: Construire et équiper des véhicules plus petits et légers, logements plus modulaires
- Fourniture d'éléments pour l'**auto-construction**
- **Rallonger la durée de vie des équipements**
- Réduire l'éclairage

Integrated hubs localising production with consumption, Beyond Luxe (2021), Luxembourg in Transition

Source: <https://luxembourgtransition.lu>

Sobriété (IPCC 2022, footnote): "A set of measures and daily practices that avoid demand for energy, materials, land and water while delivering human well-being for all within the planetary boundaries".



122 "Sustainability cannot be achieved by technological innovations alone, but requires a continuous process of institutional and behavioural adjustment." Mario Giampietro et Kozo Mayumi (2018), *Unraveling the Complexity of the Jevons Paradox: The Link between Innovation, Efficiency, and Sustainability*. Frontiers in Energy Research

123 Aude Pommeret (2023), *Rapport Thématique Sobriété*. In : Jean Pisani-Ferry et Selma Mahfouz (2023), *Les Incidences économiques de l'action climatique*. France Stratégie & Académie des technologies (2023), *Matières à penser sur la sobriété*. Synthèse du Séminaire 2022 de l'Académie des technologies

#1 Améliorer l'autonomie stratégique ouverte pour renouveler la production nationale

Engie estime que la demande globale d'énergie pourrait baisser de -28% d'ici 2050 grâce à la sobriété.¹²⁴ Selon l'Académie des technologies, la sobriété est nécessaire au progrès et le progrès à la sobriété. Un exemple sont les **low-tech**, c'est-à-dire les solutions à faible intensité technologique et des produits dé-complexifiées, faciles à réparer et entretenir, dont la conception repose sur beaucoup d'ingéniosité et d'innovation technologique et comportementale.¹²⁵ D'autres exemples pour inciter à l'économie sont la réutilisation des eaux usées ou la tarification progressive d'une ressource limitée essentielle, le tarif augmentant avec le volume consommé pour décourager la consommation de « confort ».¹²⁶ En générale, il s'agit de distinguer les **usages de nécessité** et ceux relevant de la **commodité** et d'éliminer les surconsommations dans les second. Pour le Luxembourg, le KBR appelle à ramener les surconsommations par habitant (matière, énergie, surface, eau) dans la moyenne de l'UE et la Plateforme climat appelle le PNEC à traiter davantage de sobriété pour freiner la surconsommation.¹²⁷

La sobriété industrielle d'usage des matières n'est actuellement pas couvert par le projet de règlement UE sur les matières critiques (CRM Act). L'Académie des technologies plaide pour une approche globale, équitable, urgente, coordonnée au niveau national et intra-communautaire en la matière.¹²⁸ La **sobriété, le changement comportemental, les low-tech et la circularité** (Brique 2) viendront ainsi compléter l'arsenal de relance de la production nationale.

C. Accélérer les transitions des secteurs productifs intenses en ressources vers des régimes plus sobres

Les transitions vont nécessiter des investissements considérables, et même une nouvelle révolution industrielle, qui devraient être financés par le dynamisme économique. La tradition nationale de production industrielle s'en verrait alors poursuivie et transformée. Pour **accélérer les transitions** des secteurs industriels intenses en énergie¹²⁹, matériaux, espace ou eau, l'État poursuivrait et renforcerait ses efforts par des mesures telles que :

- Introduction, dans le respect du cadre communautaire, d'un régime fiscal et d'aides dédiées pour réaliser la **feuille de route de décarbonation de l'industrie**
- **Accompagnement et conseil** des entreprises, notamment via **Luxinnovation et Klima-agence**, pour réaliser les transitions et les mesures PNEC
- **Suivi de l'efficacité des aides étatiques** pour atteindre les objectifs de résilience, inclusivité et compétitivité

Les objectifs nationaux de réduction des GES prévu dans le PNEC sont très ambitieux pour l'industrie et la construction (-40% en 2030 p. r. à 2021). Partant de 407 kt CO₂eq. d'émissions en 2021, le STATEC projette qu'une augmentation de +131% des émissions de la production manufacturière (y compris construction, hors *Emissions Trading System* (ETS)) d'ici à 2050 serait largement compensée par le recours massif à l'efficacité énergétique (-193%) et par le fuel switch (-25%).¹³⁰

¹²⁴ ENGIE (2023), [What is energy sufficiency?](#)

¹²⁵ Philippe Bihouix (2022), Face aux tensions sur les ressources, miser sur les low-tech ?, présentation du groupe AREP à la [conférence Luxembourg Stratégie](#) du 17.10.22

¹²⁶ Martine Valo (2023), [Le plan « eau » d'Emmanuel Macron mise sur la sobriété et l'innovation technologique](#), Le Monde, 21 mars 2023

¹²⁷ MECDD (2023), [Avis de la plateforme pour l'action-climat et la transition énergétique relatif à l'avant-projet de la mise à jour du PNEC du Luxembourg pour la période 2021 – 2030](#). Version finale du 11.07.23

¹²⁸ Académie des technologies (2023), [Matières à penser sur la sobriété](#). Synthèse du Séminaire 2022 de l'Académie des technologies

¹²⁹ For the EU commission, energy-intensive industries include: raw materials, manufacturing of products with high environmental impact: chemicals, iron and steel, forest-based products, plastics, refining, cement, rubber, non-ferrous metals, fertilisers, etc. European Commission (2023), [Energy Intensive Industries ecosystem and LSP\(s\)](#).

¹³⁰ Laurent Braun et al. (2023), [Projections du STATEC pour le nouveau PNEC](#). STATEC, Mesurer et modéliser la transition écologique, 21.04.23

Pour soutenir l'industrie luxembourgeoise dans ses efforts pour décarboniser ses activités à l'horizon 2050 ; respecter ses objectifs climatiques à l'horizon 2030 et contribuer de manière appropriée aux objectifs énergétiques (à l'horizon 2030) et satisfaire aux exigences du système d'échange de quotas d'émission de GES de l'UE, le ministère de l'Économie, en étroite collaboration avec le ministère de l'Énergie et de l'Aménagement (MEA) du territoire et le ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable (MECDD) ont élaborés en 2023 une **feuille de route de décarbonation de l'industrie** manufacturière luxembourgeoise à échéance 2040/2050. L'industrie (ETS et non-ETS) a déjà réduit ses émissions de 3.300 kt CO₂eq. (2005) à 1.900 kt CO₂eq. (2021)¹³¹, même si les émissions du secteur de l'industrie ont connu une hausse de 21% de 2020 à 2021 suite au contre-choc lié au COVID-19.¹³²

Pour appuyer davantage les entreprises dans leurs efforts de décarbonation, les régimes d'**aides aux entreprises** seront étendus, conditionnés et ciblés. Les aides étatiques aux entreprises ont un effet d'orientation important. En soutenant la démarche d'innovation et en stimulant la protection de l'environnement et du climat par les entreprises, elles contribuent à rendre progressivement notre économie plus durable et plus digitale. Ayant déboursé près d'1 milliard EUR en aides l'État pour la période 2018-2022,¹³³ le gouvernement amplifiera et focalisera son soutien financier aux entreprises pour les décennies à venir.

« Des choix [s'imposent] : il faudra redéfinir [les] aides pour les rendre plus incitatives à des investissements dans l'effort d'efficacité énergétique, de réduction des émissions et de circularité. Le temps où des technologies du passé étaient soutenues au même titre que l'innovation en faveur du climat est révolu. »

Ministre de l'Économie Franz Fayot, Carte blanche, Paperjam (juin 2023).

D. Sécuriser et diversifier l'approvisionnement élémentaire

Pour mieux **sécuriser l'accès** de l'industrie et des PME à l'énergie et aux matières premières, à coûts compétitifs, à l'échelle nationale, grande-régionale ou européenne et à long terme, les sources d'approvisionnement seront diversifiées. Une part plus importante est produite et prélevée localement, y compris par les entreprises elles-mêmes. La collecte et la réutilisation de matière secondaire peuvent être structurées en fonction de leur zone de chalandise en Grande Région ou au-delà. La production artisanale fonctionne déjà actuellement en majeure partie sur base de chaînes d'approvisionnement et de traitement nationales, voire interrégionales. L'optimisation de l'utilisation des ressources présentes sur le territoire s'appliquerait au cas par cas aux entreprises ne dépendant pas majoritairement de l'importation. Enfin des réserves stratégiques seront constituées sur le territoire national et grand-régional (Brique 5).

Pour illustrer la **sécurisation et diversification stratégiques** pour la production nationale, on peut nommer les étapes ou mesures suivantes, dont certaines sont d'ores et déjà prévues dans d'autres documents stratégiques à long-terme, notamment le PNEC.

L'énergie se diversifiera : d'autres options que l'électricité telles que la géothermie, le solaire thermique, le biogaz, les réseaux urbains de chaleur (alimentés par les précédentes et la chaleur industrielle) devront être développées. L'État accompagnera l'industrie dans la génération sur site de plus d'**énergie**. Le PNEC vise à promouvoir les installations photovoltaïques sur chaque toiture adaptée de bâtiments industriels. Ce support pourra s'étendre à la géothermie, aux réseaux

¹³¹ Laurent Braun et al. (2023) *Projections du STATEC pour le nouveau PNEC: Autres activités économiques*. STATEC, Mesurer et modéliser la transition écologique, 19.05.23

¹³² MECDD (2022), Présentation PNEC. Comité Interministériel pour l'Action Climat, Réunion du 06.09.22

¹³³ Pour l'ensemble des différentes mesures de soutien financier, le ministre de l'Économie a octroyé, pendant la période 2018-2022, un total de 906 millions d'euros aux entreprises, à travers différents types d'aides [subventions, avances, garanties (gérées par la Trésorerie de l'État), etc.]. Plus de la moitié de cette enveloppe (51,7% ou 469 millions euros) a été octroyée sous forme d'aides aux entreprises pour qu'elles réalisent des investissements, au Luxembourg, à hauteur de 1,5 milliard d'euros. Les aides en faveur de la protection de l'environnement, à elles seules, se chiffrent à 95 millions d'euros et ont permis de générer un investissement de 404 millions d'euros. Ministère de l'Économie (2023), *Franz Fayot a fait le point sur les aides étatiques aux entreprises*. Communiqué du 09.02.23

#1 Améliorer l'autonomie stratégique ouverte pour renouveler la production nationale

mutualisés de chaleur, à l'autoconsommation. Pour faire baisser les prix de l'électricité, les industriels appellent aussi à travailler sur la gestion de la demande ou les capacités de stockage locales.¹³⁴

La recherche et l'industrie contribueront à relever les **défis scientifique et technologique** des transitions, notamment en matière de technologies et matières alternatives, de sobriété des ressources, de robustesse et d'interconnexion des réseaux et systèmes énergétiques à haute pénétration de renouvelables. La recherche fondamentale et interdisciplinaire analyse les chaînes de valeur des minerais critiques et se penche sur leur substitution (Brique 2, Brique 3).

Pour réussir la grande électrification, l'expansion des mines dans le monde s'impose, à côté de l'efficacité, de la sobriété, de l'innovation et du recyclage des métaux présents sur le territoire.¹³⁵ L'État peut promouvoir la **prospection géologique** de ce qui est extractible et productible au Luxembourg, en Grande Région, en UE, dans le cadre des contraintes physiques et réglementaires et dans le respect des normes environnementales, sanitaires et sociales existantes. Appel sera fait à la R&D et aux technologies digitales pour concevoir des méthodes de précision, efficaces et non-envahissantes, non-chimiques et sobres en énergie, terrain et eau d'exploration, d'extraction et de remédiation du site en fin de vie.¹³⁶ La renaturation et le ré-ensauvagement offre des opportunités de développement de ces surfaces ou de génération de éco-points.

Pour cela il faut numériser les cartes géologiques et visualiser les données géo-scientifiques en 3 dimensions. Un exemple de veille stratégique, économique et technique des métaux nous vient de France : en 2022 un Observatoire des ressources minérales pour les filières industrielles (OFREMI) a été créé pour concourir à la sécurisation des approvisionnements en métaux critiques. L'Observatoire suit les chaînes mondiales de valeur des métaux stratégiques et les besoins d'approvisionnement actuels et futurs du secteur industriel français et produit des analyses de risques nécessaires à toute décision d'investissements.

Pour diversifier géographiquement les dépendances, des **participations** européennes sont prises dans des sociétés extra-communautaires pour l'accès aux matières premières ou produits semi-finis et finis. Au niveau international, des **accords commerciaux** et des partenariats stratégiques sont conclus en vue d'investissements groupés et d'approvisionnements dédiés. Les **contrats de fourniture d'électricité** deviennent de plus en plus à long terme et un instrument de réduction des risques facilitera leurs déploiement (PNEC).

Au niveau de l'UE, les innovations et les technologies européennes seront mieux protégées (p. ex. *Carbon Border Adjustment Mechanism* (CBAM)) et l'Europe cesserait d'être l'incubateur des États-Unis ou de la Chine. L'intégration du marché intérieur sans frontières sera achevée pour permettre aux technologies de l'avenir d'atteindre une **masse critique au sein d'un grand marché unique**.

134 FEDIL (2023), *National Climate and Energy Plan – Update 2023*, note, p.10

135 IHK Bayern (2017), *Leitfaden zur Rohstoffsicherung*.

136 WEF (2020), *New Nature Economy Report II – The Future Of Nature And Business*, Ch.2 on Nature positive metals and minerals extraction



#2

Déployer la **circularité**
et la **sobriété** à toute
l'économie

L'Europe dispose de peu de ressources et matières première sur son sol. En matière de souveraineté de la production, elle a une carte à jouer en misant sur la construction d'une **économie européenne véritablement circulaire et sobre**. D'ailleurs, l'Étude Rifkin défendait que le Luxembourg pourrait devenir la première nation circulaire de l'Europe en 2050, un objectif qui reste désirable.

Le taux d'utilisation circulaire de matières en Europe n'était que de 11,7% en 2021. A s'en fier aux données et définitions EUROSTAT, celui du Luxembourg baisse depuis 2010 pour s'établir à 9,9% en 2020.¹³⁷ Pour le Luxembourg, différentes méthodes de calcul aboutissent à différents taux. En ne comptabilisant que la réutilisation domestique de matières secondaires, le taux est de 4%. En comptabilisant aussi l'importation de matières secondaires, le taux de circularité (*circular material use*) passe à 31% pour l'économie luxembourgeoise, qui importe massivement de la ferraille et déchets métalliques pour la sidérurgie.¹³⁸ L'importante présence de travailleurs frontaliers, qui contribuent à la consommation et au rejet de matières, rend la comparaison du Luxembourg avec les autres pays malaisée.

Au niveau mondial, on observe actuellement une stagnation, voire un **recul de l'économie circulaire**. Elle ne concerne que 8% des activités et flux économiques mondiaux.¹³⁹ Pour prendre l'exemple du plastique, un produit fort utile propagé depuis les années 1950. Son usage linéaire et massif cause aujourd'hui de gros problèmes de pollution des milieux et notamment des mers. Or son taux global de recyclage est actuellement de 6%, pour un volume produit qui est estimé tripler d'ici à 2060.¹⁴⁰

La question est donc, comment faire avancer l'économie circulaire nationale ?

Revenons d'abord aux fondamentaux.

La **circularité** suit schématiquement l'approche des 5R. Elle prévoit schématiquement de **refuser** la surconsommation, de **réduire** le volume de déchets, de **réutiliser** les matières contenues dans les produits, de rallonger la durée de vie des produits et d'éviter le gaspillage, de **réparer** au lieu de jeter, de reconditionner et de consommer autrement et d'utiliser mieux les ressources, de **recycler** les déchets résiduels, le recyclage étant la dernière option à considérer.

L'économie circulaire distingue deux cycles principaux – le **cycle technique et le cycle biologique**. Dans le cycle technique, les produits sont maintenus en circulation dans l'économie grâce à la réutilisation, la réparation, la remise à neuf et le recyclage. De cette façon, les matériaux sont conservés en usage et ne deviennent pas des déchets. Dans le cycle biologique, les matériaux biodégradables sont retournés au sol et décomposés par des processus tels que le compostage et la digestion en anaérobie. Cela permet à la terre de régénérer les nutriments, qui peuvent ensuite être utilisés pour créer de nouveaux matériaux biodégradables, assurant ainsi la poursuite du cycle.

A l'avenir, il faudra non seulement parler de recyclage de matières, mais aussi de **réemploi** de produits sans passer par la filière déchets. De par ses fortes consommations intérieures de matière et importations de biomasse sous forme d'aliments, le résident du Luxembourg produit en moyenne plus de déchets et gaspille plus de nourriture que ses pairs en UE. Les occasions pour réduire le volume de déchets et, par ricochet, le besoin de recycler sont donc toutes trouvées.

137 L'indicateur mesure la part des matières recyclée et réintroduite dans l'économie – économisant ainsi l'extraction de matières premières – dans l'utilisation globale de matières. Le taux d'utilisation circulaire des matières premières, aussi connu comme le taux de circularité, est donc défini comme le ratio de l'utilisation circulaire des matières premières sur l'utilisation globale de matières. L'utilisation globale de matières est mesurée en additionnant l'agrégat consommation intérieure des matières (CIM) et la quantité d'utilisation circulaire de matières. Eurostat (2023), Taux d'utilisation circulaire de matières.

138 Marco Bianchi et al. (2023), Regional monitoring frameworks for the circular economy: implications from a territorial perspective, European Planning Studies, 31:1, 36–54

139 "Circularity gap widens as extraction increases. A rise in raw material extraction has led to a fall in the circular share of the world economy from 8.6% in 2020 to 7.2% in 2023, according to a study by Deloitte and specialist consultants Circle Economy, whose figures are based on the volume of materials being recycled for a second life. A more circular economy would lead to a 1/3 reduction in current extraction levels, say the report's authors", Circle Economy (2023), The Circularity Gap Report

140 La production de plastique est passée de 0 à 450 mio de tonnes de 1950 à nos jours. Alimentée par la croissance économique et démographique, elle serait à multiplier par 3 d'ici, OECD (2023), Global Plastics Outlook to 2060.

#2 Déployer la circularité et la sobriété à toute l'économie

Les déchets organiques résiduels et les eaux usées sont des sources potentielles d'énergie et de nutriments biologiques, qui devraient être recyclés sous forme de biogaz et de digestat, compost ou engrais rendus au sol afin d'y maintenir la fertilité nécessaire à la production alimentaire.

Par **sobriété** on entend une réduction de la consommation de ressources qui ne résulte pas de gains d'efficacité dans l'utilisation de ces ressources.¹⁴¹ Cela passe par une limitation des biens et services produits et consommés à un niveau suffisant et non superflu. La Vision invite à se défaire de la logique d'accumulation linéaire qui prévaut aujourd'hui. La sobriété comprend l'ensemble des mesures politiques et des pratiques quotidiennes qui évitent la demande initiale en ressources naturelles tout en assurant le bien-être de tous à l'intérieur des limites planétaires.¹⁴² La sobriété fait partie des mégatendances observées par la Commission européenne, qui la définit comme : "an absolute decrease of consumption, especially for high-consuming classes, since efficiency applied to production and consumption will not be enough to halt environmental degradation, as past rebound effects have shown".¹⁴³

Efficience et sobriété sont des concepts différents. Prenons un exemple du domaine de l'énergie : tandis que l'**efficience énergétique** décrit la consommation d'énergie d'un système par rapport au service rendu (une télé classée A+++ consomme moins que la même télé étiquetée A+), la **sobriété énergétique** vise à consommer le moins d'énergie et de matières premières possible tout en assurant un confort raisonnable. Pour rester sur les téléviseurs, si l'écran classé A+++ fait 140 cm de diagonal et que celui classé A+ en fait 80 cm, alors c'est la plus petite télé qui consomme le moins, quoi qu'en dise l'étiquette. La sobriété consiste à choisir le modèle de 80 cm plutôt que celui de 140 cm, non seulement parce qu'il consomme deux fois moins d'électricité en valeur absolue, mais aussi parce que sa construction a utilisé trois fois moins de matériaux et d'énergie (et donc moins d'énergie grise).¹⁴⁴

La circularité et la sobriété contribuent à plus d'autonomie dans la production et la consommation, ainsi qu'à la décarbonation de la production et l'efficience dans l'usage des ressources. Nous ne pouvons pas atteindre la neutralité carbone sans circularité et sans sobriété. Selon la **Stratégie Économie circulaire**, coéditée en 2021 par le ministère de l'Économie, « [un] meilleur contrôle des flux de matières premières et de produits réduit la dépendance vis-à-vis des fournisseurs et contribue ainsi à la productivité des ressources et à une plus grande sécurité d'approvisionnement, à la fois pour les entreprises et le Luxembourg en tant que pays, ainsi qu'à la réduction des coûts de gestion des déchets ». De même, pour la plateforme climat, « [face] au changement climatique et des questions géopolitiques ou sanitaires, le Luxembourg a dû faire face à une pénurie continue de matériaux de construction. La transition vers une gestion plus holistique des ressources et des flux de produits et de matières premières devient donc indispensable. »¹⁴⁵

La généralisation des principes de circularité et de sobriété à toute l'économie et la société peut être promue par les actions suivantes:

- A. Accélérer et généraliser la mise en œuvre des stratégies circulaires** existantes
- B. Réduire l'empreinte foncière et matérielle** de l'économie
- C. Développer et structurer les filières circulaires**, innover et substituer les matières

¹⁴¹ Jean Pisani-Ferry et Selma Mahfouz (2023), *Les incidences économiques de l'action pour le climat*, France Stratégie.

¹⁴² IPCC (2022), *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change*.

¹⁴³ European Commission (2023), *Sufficiency*. Competence Centre on Foresight. Knowledge for policy & Sufficiency as "A set of measures and daily practices that avoid demand for energy, materials, land and water while delivering human well-being for all within the planetary boundaries" in IPCC (2022), *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change*, p.31

¹⁴⁴ Energie-Environnement.ch (2023) *Stratégie énergétique 2050 de la confédération helvétique*.

¹⁴⁵ MECDD (2023), *Avis de la plateforme pour l'action-climat et la transition énergétique relatif à l'avant-projet de la mise à jour du PNEC du Luxembourg pour la période 2021 – 2030*. Version finale du 11.07.23

A. Accélérer et généraliser la mise en œuvre des stratégies circulaires existantes

Pour la Banque mondiale, la circularité doit devenir l'approche dominante des économies d'Europe et évoluer en un *whole-of-government* agenda.¹⁴⁶ Pour **libérer tout le potentiel de la circularité et de la sobriété** et en faire des orientations générales de l'économie et de la société, il est nécessaire de mieux comprendre les raisons spécifiques qui les empêchent de s'imposer en tant qu'approche généralisée.

Au Luxembourg, les entreprises constatent un éparpillement institutionnel de la compétence en matière d'économie circulaire et une inadéquation entre l'ambition et les moyens mis à disposition. Elles appellent à une intégration des principes circulaires dans les marchés publics restés « linéaires » (Brique 6). Pour d'autres, les entreprises individuelles et l'État ne peuvent réussir seuls car le rôle des communes et de l'écosystème territorial de proximité est déterminant : « les municipalités devraient aller au-delà des politiques traditionnelles de gestion des déchets et tirer parti de leur proximité avec les citoyens, les fabricants, les détaillants, les prestataires de services et les institutions de recherche pour canaliser les ressources locales pour le déploiement d'innovations circulaires tout au long de la chaîne de valeur des secteurs et produits prioritaires ».¹⁴⁷

Selon le baromètre de l'Économie du 2^{ème} semestre 2021, les principaux obstacles à la mise en place des principes circulaires restent le manque de temps, le manque de solutions techniques, le manque de main-d'œuvre et le manque de budget ou de retour sur investissement. L'absence de ressources naturelles propres et les hauts prix fonciers n'arrangeraient pas les choses.¹⁴⁸

Le prix joue certainement en défaveur de la circularité. La Vision ECO2050 part de l'hypothèse que face aux prix, pénuries et retards de livraison de matières premières, la circularité deviendra une nécessité économique. Pour que l'économie circulaire décolle, l'État peut agir pour rendre la réutilisation, le recyclage, la réparation, le reconditionnement, la reconstruction plus compétitifs que la fabrication neuve. Pour cela, il est fait appel d'un côté à l'**innovation**, la **formation** et l'**accompagnement** et de l'autre côté, à la **règlementation**, la **standardisation** (p.ex. droit à la réparation, garantie, durée de conservation) et enfin aux **subventions** (p.ex. aide d'État spécifique, prêts à taux zéro, TVA réduite, *Reparaturbonus*, subventions pour le réemploi de matériaux sur le même chantier).

Il s'agit de changer de cadence et d'échelle pour **accélérer et généraliser la mise en œuvre des stratégies « économie circulaire »** au Luxembourg. Une première stratégie a vu le jour en 2021, élaborée sous l'égide du ministère de l'Économie, du ministère de l'Énergie et de l'Aménagement du territoire et du ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable. Elle a été suivie par la boîte à outils « Zones d'Activités Économiques (ZAE) » et le **Guide pour la conception durable de ZAE** du ministère de l'Économie, ainsi que par le *Leitfaden Gestaltung Aktivitätszonen* adopté en 2022 conjointement par le MEA et le ministère de l'Économie.

L'État a mis en place une panoplie d'instruments pour faire éclore, renforcer et systématiser l'économie circulaire. Pour accompagner les entreprises, **Luxinnovation** met à disposition des acteurs des outils et appuis sous forme de mapping : *sustainability enablers*, *wood cluster* et *Holzhaft*, *start-up ecosystem*, *creatives industries*, *Fit4sustainability* avec son volet « circularité » *bilan matière*. Le **Klimapakt fir Betriber** soutient les PME dans la transition énergétique et l'action climat. La plateforme climat propose dans son avis relatif au PNEC d'intégrer au **Klimapakt fir Betriber** des mesures d'accompagnement ciblées en vue de la transition vers une économie circulaire. L'artisanat est en effet un acteur incontournable dans la transition vers une économie circulaire et se démarque par de bonnes pratiques en matière de gestion des déchets et d'utilisation de matériaux locaux.

¹⁴⁶ World Bank (2022), *Squaring the circle: Policies from Europe's circular economy transition*

¹⁴⁷ Marco Bianchi et al. (2023), *Regional monitoring frameworks for the circular economy: implications from a territorial perspective*, European Planning Studies, 31:1, 36-54

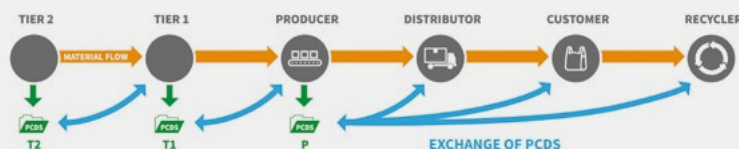
¹⁴⁸ Ibid.

#2 Déployer la circularité et la sobriété à toute l'économie

L'économie dispose d'autres atouts dans la marche vers la circularité : **Terra Matters** et l'**Institut luxembourgeois de la normalisation, de l'accréditation, de la sécurité et qualité des produits et services** (ILNAS). ILNAS a un rôle à jouer dans la surveillance du marché de certains produits secondaires. Le groupement d'intérêt économique (GIE) **Neobuild** est spécialisé dans l'innovation technologique du secteur de la construction durable.

EXEMPLE : CIRCULARITÉ, TERRA MATTERS

- Le GIE Terra Matters, créé en février 2023, a pour vocation d'assurer la promotion et l'accompagnement de la transition vers une économie circulaire en assurant le développement, la gestion et la promotion du **"Product Circularity Data Sheet"**, un système de gestion des données circulaires pour matériaux et produits lancé initialement par le ministère de l'Économie.
- Ce nouveau partenariat public-privé rassemble d'un côté, le ministère de l'Économie et de l'autre, la CdC.
- Les missions principales du GIE sont :
 - La promotion et l'accompagnement de la transition des entreprises vers une économie circulaire;
 - Le soutien au développement et la mise à disposition du PCDS comme solution technique et la prestation de services à valeur ajoutée y associés ;
 - La gestion et la promotion de l'écosystème autour du PCDS ;
 - La collaboration à l'élaboration et au développement de normes industrielles pour fournir des données fiables sur les caractéristiques circulaires des matériaux et produits;
 - La collaboration avec des partenaires dans l'intérêt du développement et de l'application du PCDS.



Source: <https://pcds.lu>

A côté de l'innovation technologique, atteindre les objectifs de l'économie circulaire nécessite aussi l'innovation dans le type de **modèle commercial** utilisé (p.ex. passer de la vente à la location, de la possession au partage) et l'innovation sociale (nouvelles façons d'interagir ou de connecter les entreprises et les personnes).

Le nouveau **plan d'action pour une économie circulaire en Europe** (2020) et les nouvelles initiatives législatives **éco-design et droit à la réparation** (2023) pourraient en effet changer la donne. Une des pierres angulaires du pacte vert pour l'Europe, le plan d'action pour une économie circulaire prévoit des initiatives correspondant aux différents stades du cycle de vie des produits, depuis la conception, et en passant par la promotion des processus de l'économie circulaire, l'incitation à une consommation durable et la garantie que les ressources utilisées restent aussi longtemps que possible dans l'économie de l'UE.

Le plan économie circulaire de l'UE est actuellement cantonné aux déchets et ne prévoit pas de disposition concernant la production ou l'importation des matières premières non renouvelables telles que les métaux, les plastiques ou les minéraux. La Vision propose d'étendre le champ d'applications du plan et d'intégrer une réflexion sur la régulation non pas la génération de déchets

mais la conception et la fabrication des produits. Au niveau de l'UE, il faudrait imposer que les équipements et les biens nouveaux qui sont produits ou importés contiennent un haut degré de matières recyclées. Une sorte de **CBAM pour les matières**.

Se fier à l'impulsion venant de l'extérieur est nécessaire mais pas suffisant. Nombre d'actions en vue de l'essor de filières de réparation, réemploi, recyclage relèvent principalement de décisions nationales et de *pooling* grand-régional de ressources. Beaucoup peut y être fait pour accumuler les volumes de matières économiquement rentables à traiter, en structurant les gisements d'activités et les acteurs liés au secteur (Brique 6B).

B. Réduire l'empreinte foncière et matérielle de l'économie en économisant, densifiant et recyclant

Le Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE) estime à 8% la part de la consommation énergétique mondiale qui est associée à l'extraction et à la production de **métaux vierges** (ceux extraits directement des gisements par opposition à ceux issus du recyclage), consommation qui contribue également aux émissions de GES. Le PNUE montre aussi que les gisements tendent statistiquement à s'appauvrir et que leurs consommations énergétiques croissent inversement à leur teneur en métal. Il montre enfin que produire du métal recyclé est considérablement moins gourmand en énergie. Limiter les besoins et recycler les matières présentes sur le territoire est un moyen de limiter le risque de **criticité** sur les métaux et de bénéficier d'un double dividende : baisser la dépendance d'importations de métaux et diminuer les externalités négatives (p.ex. sur la santé, les milieux naturels, la qualité de l'eau et de l'air, la biodiversité, les paysages) liées à leur extraction, leur traitement et leur transport. Le recyclage des métaux est indispensable pour réussir la transition énergétique intense en métaux et pour baisser la pression sur l'approvisionnement primaire.

Le neuf tend à avoir un impact physique plus grand que la réutilisation de l'existant. La construction neuve – même la plus efficiente possible – nécessite de l'énergie, du foncier, de l'acier, du verre et du béton. L'intérêt stratégique de la généralisation des principes circulaires et sobres est de disposer d'un potentiel d'exploitation fort de matières déjà présentes sur le territoire. Elle permet de réduire la dépendance de l'industrie manufacturière et des ménages aux matières et produits neufs, dont le coût relatif en termes économiques et environnementaux apparaît de plus en plus haut.

Selon la politique nationale d'aménagement du territoire, il est essentiel de développer une économie qui tienne compte des limites écologiques. Le PDAT 2035/2050 propose une prospective territoriale en identifiant les espaces à développer et ceux à préserver, en définissant des objectifs de réduction d'artificialisation du sol et de coopération transfrontalière. Cela permet d'identifier en amont les sites pour les ZAE et de favoriser un développement multifonctionnel de ces derniers.

#2 Déployer la circularité et la sobriété à toute l'économie

Pourquoi limiter l'artificialisation du sol ?

- Limiter l'étalement urbain et donc les besoins en mobilité
- Réduire les émissions de CO₂
- Limiter l'accroissement des dépenses liées aux réseaux (transport, énergie, canalisation, eau potable, etc.)
- Limiter l'accentuation du réchauffement climatique
- Protéger les paysages et la biodiversité
- Limiter les risques d'inondation
- Préserver les terres agricoles nourricières
- Préserver un substrat capable d'absorber du CO₂
- Maintenir la cohésion sociale



Figure 14. Pourquoi le PDAT préconise de limiter l'artificialisation du sol¹⁴⁹

Concilier baisse de l'artificialisation et relocalisation industrielle peut se faire par une utilisation plus circulaire des surfaces. Le concept de **ville de 15 minutes** (KBR26), combiné à une généralisation des transports en commun attractifs libérant de la place en ville précédemment occupée par des voitures individuelles (le Luxembourg compte 900.000 emplacements de stationnement, c'est-à-dire plus que d'habitants) permettrait la réinstallation de commerces ou d'ateliers dans les centres urbains. Le **Compatibilités-check** initié par le ministère de l'Économie est un autre outil pour identifier tôt dans le processus d'implantation d'entreprises celles qui sont compatibles avec les contraintes nationales.

L'application de la **boîte à outils ZAE** et du **guide pour la conception durable de ZAE** du ministère de l'Économie sera généralisée et étendue (voir carte des activités économiques en 2050, à la toute fin du présent rapport). L'objectif est de baisser les besoins en **matériaux de construction neufs** par le recyclage du béton et d'autres matériaux de construction, de favoriser la réutilisation de ZAE et bâtiments industriels existants afin de baisser le rythme de **construction neuve**, d'éviter ou de compenser la prise de terre neuve (PDAT2023), de dés-imperméabiliser parkings et alentours etc.

Particulièrement prometteur est le **multi-usage** ou l'utilisation **multi-étage** des surfaces des ZAE, là où cela s'applique. Il s'agit d'empiler des fonctions productives en hauteur et d'utiliser les éventuels espaces vacants pour adjoindre au cas par cas à la fonction productrice principale des fonctions complémentaires dont p.ex. les suivantes :

- Alimentaire (serres, maraîchage, compostage, aquaculture, apiculture)
- Énergétique (PV, thermie, biogaz)
- Hydrique (collecte et stockage d'eau de pluie)
- Carbone et écologique (arbres fruitiers, saules et haie, corridors écologiques, toitures végétalisées)

Le **Leitfaden Gestaltung Aktivitätszonen** de 2022 donne les orientations nécessaires et renvoie à la nécessité de prévoir dès la planification, le remodelage ou la reconversion du site en une nouvelle affectation. Une attention particulière revient aussi au développement de filières agro-alimentaires en ZAE ou en tissu urbain. Par ailleurs, les zonings pourraient être rentabilisés et densifiés, par l'utilisation, temporaire ou permanente, de « dents creuses » en ZAE par des PME ne nécessitant pas forcément de grands emplacements.

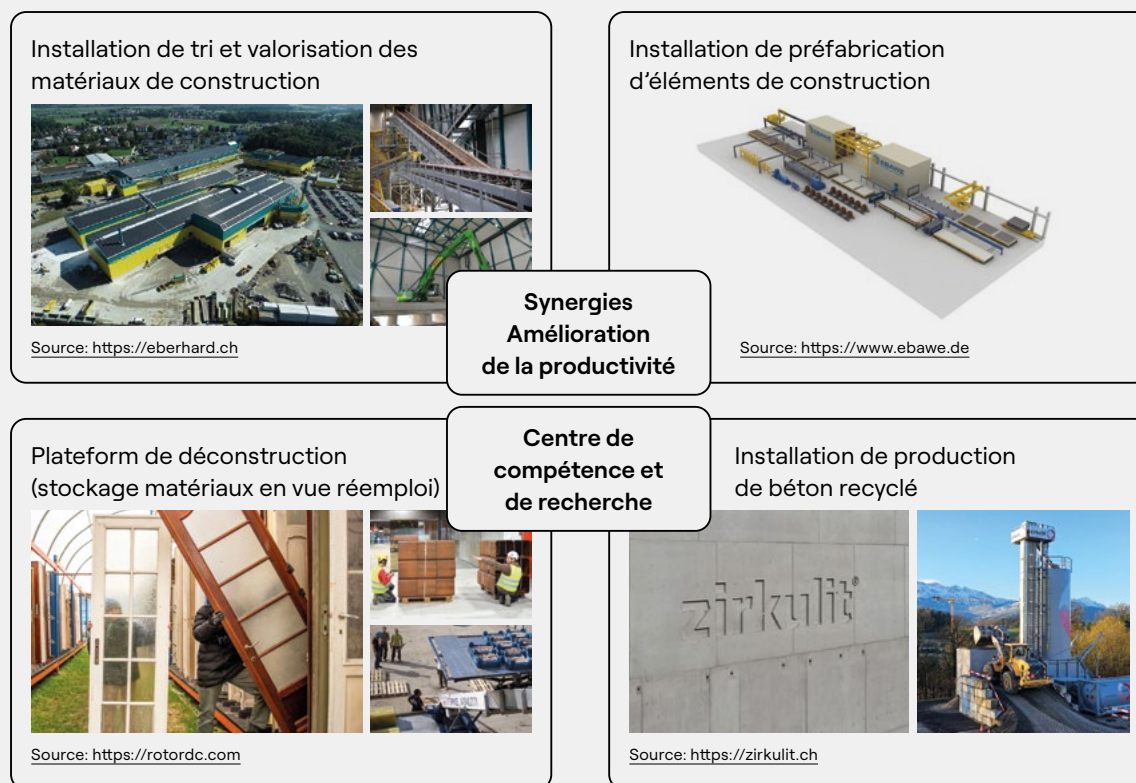
¹⁴⁹ MEA (2023), Programme directeur d'aménagement du territoire (PDAT) et Luxembourg in Transition (LIT). Institut Grand-Ducal : Matinée-Débat : Vision pour le territoire luxembourgeois. 01.07.23

C. Développer et structurer les filières circulaires, innover et substituer les matières

La montée en puissance des infrastructures logistiques circulaires peut se concrétiser par la mise en place d'une plateforme de la déconstruction et de **recyclage de matériaux de construction**. Conformément à la Stratégie « économie circulaire », l'objectif est de mettre en place un marché physique et numérique pour les matériaux de construction (béton, bois, acier, concassé, etc.) et de soutenir les infrastructures nécessaires notamment pour la réutilisation/le recyclage du béton dans un cluster construction durable. La demande et l'intérêt des acteurs privés du secteur de la construction pour s'engager dans cette voie est grande. Une ZAE spécifique nationale dédiée à la construction durable, appelé *Wertstoffhaff*, sera créé (voir cartes des activités économiques en 2023 et 2050, au tout début et à la toute fin du présent rapport).

Le *Wertstoffhaff* favorise les approches « cradle to cradle » et vise les activités en lien avec la production de béton afin de permettre d'exploiter des synergies. Il pourrait regrouper des activités de la réutilisation de matériaux avec préparation à la réutilisation et recyclage de matériaux (centre intégré), le partage de surfaces, de machines et d'installations spécifiques (optimisation) entre entreprises relogées en quête de synergies (préfabrication d'éléments de construction). La surface nécessaire serait de 10 ha nets, proches du plus grand « réservoir » de projets de déconstruction et construction pour réduire le transport de matériaux. Le *Wertstoffhaff* contribuerait à réduire les volumes de terres d'excavation à mettre en décharge (manque chronique au Luxembourg) et permettrait des activités connexes (recyclage béton, éléments préfabriqués, plateforme de déconstruction).

EXEMPLE : CLUSTER CONSTRUCTION DURABLE "WERTSTOFFHAFF"



#2 Déployer la circularité et la sobriété à toute l'économie

Le même concept pourrait s'appliquer à la fabrication manufacturière d'outils, de pièces de rechange, de pièces détachées, de machines agricoles et de tout ce qui avance les transitions.

Toujours pour limiter les conflits d'usages et l'empreinte foncière de la production économique, la Vision rejoint les initiatives pour faire des tissus construits de réservoirs de matières à réutiliser – *urban mining* – et des lieux de production alimentaire – *urban farming*.¹⁵⁰ Pour cela, des espaces d'entreposage et de tri de matériaux de déconstruction en attente de réutilisation et des infrastructures et circuits de transformation-commercialisation sont à prévoir. Les possibilités pour relocaliser d'autres activités économiques compatibles avec la fonction de logement directement dans le tissu urbain sont étudiées. L'enjeu est de raccourcir les distances logement-lieu de travail et promouvoir les commerces dans les centres villes.

Pour être économiquement viable, les filières porteuses pourraient se structurer au sein de la **Grande Région** pour plus de masse, à l'instar des initiatives existantes : la coopérative laitière *Arla* établie à Pronsfeld dans la Eifel transforme le lait allemand, belge et luxembourgeois ; BIO-OVO est une communauté transfrontalière (Luxembourg, Allemagne, Belgique) rassemblant des producteurs d'œufs ; le label *Eist Uebst a Geméis* fonctionne sur un périmètre transfrontalier avec l'Allemagne et la Belgique ; La Provençale livre les restaurants de la Grande Région en produits frais ; la coopérative agricole *De Verband*, installée à Perl, opère en Grande Région. D'autres projets concernent encore un abattoir à Thionville avec une participation luxembourgeoise, ou un *meta-cluster* grand-régional des technologies environnementales.¹⁵¹

L'artisanat luxembourgeois est un partenaire incontournable de la transition circulaire et de la régionalisation des chaînes d'approvisionnement. Sans le savoir-faire artisanal et sans les efforts menés par les métiers artisanaux, techniques, manuels et agro-alimentaires, la circularité appliquée à l'économie et à la société ne peut pas se développer. La constitution future de « chaînes de valeur stratégiques résilientes et durables », implantant les processus de conception, fabrication, exploitation et d'entretien dans la Grande Région, pourrait offrir des opportunités nouvelles à des branches artisanales par le biais de coopérations nouvelles, notamment en matière de chaînes de valeur circulaires locales, via des concepts de restitution de composants ou matériaux aux secteurs économiques qui en ont besoin. Pour la CDM, l'établissement de nouvelles chaînes de valeur au sein de la Grande Région, zone de chalandise naturelle de l'artisanat, constitue une piste importante à développer à l'avenir afin de minimiser les risques.¹⁵²

La recherche et l'artisanat investissent dans la construction en bois ou en terre. En 2050, la construction sera complétée par l'auto-construction de logements sur base de panneaux préfabriqués en bois issus de la Grande Région. Les matériaux **géo-** et **bio-sourcés** (PNEC) et à poids ultraléger seront promus, tout comme l'éco-design et la consigne. La consigne sur le verre, puis d'autres produits à l'avenir, s'organiserait au-delà des frontières, en fonction des zones d'achat et de consommation effectives. La durée de vie de tous les produits, en commençant par les essentiels, batteries, panneaux solaires, éoliennes, etc. sera progressivement étendue.

Le déploiement des panneaux solaires et les éoliennes date de la fin du dernier siècle et a pris de la vitesse à partir des années 2010. L'anticipation nous indique qu'une opportunité de collecte, traitement, réutilisation, revente de grandes quantités de métaux critiques contenus dans ces équipements et réutilisables pour la transition énergétique se dessine après 2030 quand ces équipements touchent à leur fin de vie.¹⁵³ Le modèle circulaire voudrait que soit construit dès

150 MECCD (2019), *Stratégie Nationale Urban farming Luxembourg*. Le Luxembourg, une Smart Nation.

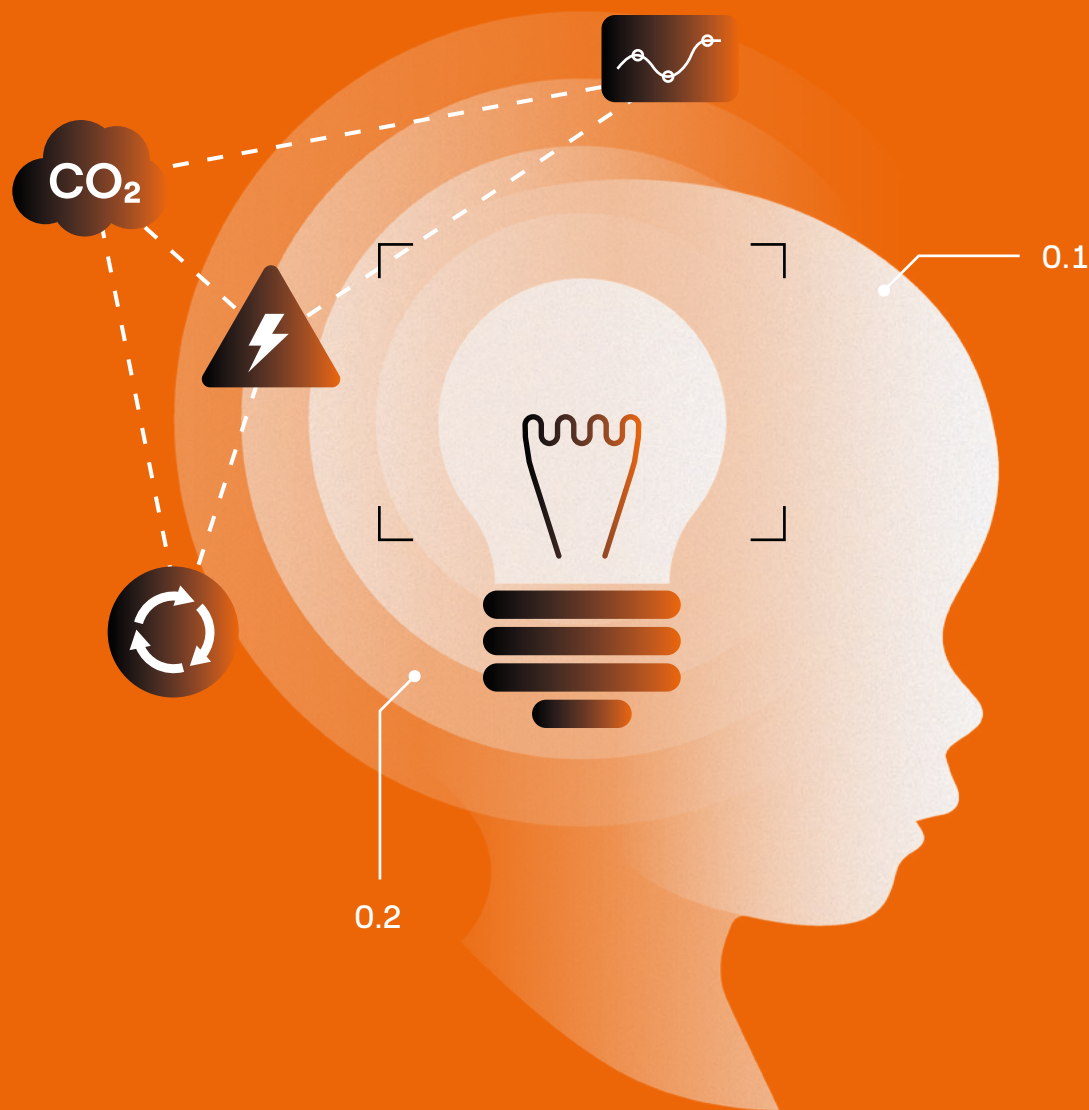
151 Chambre de Commerce (2023), *Workshop compétitivité #1 sur l'éco-innovation*

152 Chambre des Métiers (2023), *Prise de position (suite à l'échange entre « Luxembourg Stratégie » et les membres de la Commission du Centre de Promotion et de Recherche pour l'Artisanat auprès de la Chambre des Métiers du 27 avril 2023)*. 10.07.23

153 Energy Transitions Commission (2023), *Financing the Transition: supplementary report on the Costs of Avoiding Deforestation*

aujourd'hui l'industrie locale du recyclage des panneaux solaires et des éoliennes, y compris de leurs composants digitaux, installés sur le territoire, afin de leur permettre une seconde vie et une continuation dans la production d'électricité.

Les marchés de matières secondaires devront être renforcés. La création d'un **marché intérieur** pleinement intégré, résilient et sans frontières sera aussi essentielle pour faciliter l'accès aux et la réutilisation des matières premières et secondaires et pour permettre aux technologies de l'avenir d'atteindre une masse critique au sein d'un grand marché unique. Les solutions technologiques (*high-tech* et *low-tech*) et comportementales seront à mobiliser conjointement pour combler les lacunes en matière de circularité et de sobriété. La discrimination positive en faveur de produits robustes et les marchés publics « circulaires » complèteront les incitations à la circularité ([Brique 6](#)).



#3

Placer l'humain, les
savoirs et le bien-être au
cœur de l'économie

Maintenir le capital matériel et investir dans l'innovation technique est une chose. Pour réussir les transitions, il faut simultanément renforcer la coopération et cultiver le capital social. L'action humaine a un grand potentiel pour baisser les émissions.¹⁵⁴ Néanmoins elle est également marquée par l'injustice et les inégalités qui limitent la dynamique sociale vers une décarbonation profonde d'ici 2050.

Pour ces raisons, la Vision mise sur **l'innovation sociale, sociétale et organisationnelle** sous de multiples facettes: **formation tout au long de la vie, qualité du travail et reconversion d'emplois, connaissances et savoirs, recherche et excellence, culture de l'entrepreneuriat et stimulation de l'intérêt personnel des acteurs, poly-activités, économie sociale et solidaire.**

On entend par **innovations sociales et sociétales** celles qui visent les transitions sans être primordialement basées sur la technologie et qui concernent les sphères de la société, des affaires et de la gouvernance (pour l'innovation en gouvernance, voir aussi Brique 10). Ces innovations ont un potentiel d'atténuation des GES relativement haut pour une rapide mise en œuvre (c'est-à-dire réalisable avant 2030) et des coûts d'implémentation bas relativement aux innovations purement technologiques.¹⁵⁵ Elles peuvent donc valablement compléter les solutions technologiques pour atteindre les transitions plus rapidement et à moindre frais.

L'**innovation sociale** a pour but d'élaborer des réponses nouvelles à des besoins sociaux mal ou peu satisfaits. Elle vise à apporter des solutions concrètes et efficaces à des enjeux souvent complexes, auxquels ni l'État, ni le marché ne sont en capacité de répondre à eux seuls. Ces innovations concernent aussi bien les produits ou services, que les modes d'organisation et de distribution. Des exemples sont la lutte contre le gaspillage alimentaire, les logements partagés, les communautés d'énergie. Le *Social Business Incubator*, géré par le ministère du Travail, de l'Emploi et de l'Économie sociale et solidaire (MTEESS), et Luxinnovation offrent un soutien expert et personnalisé pour toutes activités entrepreneuriales socialement innovantes.¹⁵⁶

L'approche concerne le changement de mode de vie, le partage et la mutualisation de ressources, la baisse de la mobilité contrainte, la réduction de la demande pour l'espace, les matériaux ou les aliments, la décentralisation de la production et consommation d'énergie. Le microcrédit, les coopératives d'alimentation, les systèmes de consigne ou le commerce équitable sont de bons exemples d'innovations sociales.¹⁵⁷

Pour placer l'humain, les savoirs et le bien-être au cœur de l'économie, quatre leviers sont proposés :

- A.** Bâtir la **nouvelle génération** de main-d'œuvre apte à mener les transitions
- B.** Combiner d'anciens et de nouveaux **savoirs**, promouvoir la culture scientifique et cultiver l'excellence
- C.** Promouvoir de **nouveaux modèles d'affaires** et de management (innovation organisationnelle)

¹⁵⁴ Les actions concernant la demande ont un potentiel de réduction des émissions allant jusqu'à 70% d'ici 2050. "Demand and services: potential to bring down global emissions by 40-70% by 2050. Walking and cycling, electrified transport, reducing air travel, and adapting houses make large contributions. Lifestyle changes require systemic changes across all of society. Some people require additional housing, energy and resources for human wellbeing" Yoav Aziz et al. (2022) *Climate Change 2022, Mitigation of Climate Change*.

¹⁵⁵ Sigit Perdana et al. (2023), *Expert perceptions of game-changing innovations towards net zero*. Energy Strategy Reviews. Volume 45. & Fergani (2018), *Scenarios archetypes of the futures of capitalism. The conflict between psychological attachment to capitalism and the prospect of its dissolution*. Futures. Volume 105

¹⁵⁶ Luxinnovation (2023), *Le premier appel à projets visant à promouvoir l'innovation sociale au Luxembourg*. Communiqué du 05.04.23

¹⁵⁷ D'autres applications possibles sont :

- Alternative forms of auto-mobility (car sharing, ride-sharing, etc.)
- Alternatives to auto-mobility (e-bikes, mobility as-a-service, etc.)
- Reduced demand for mobility (home-working, teleconference, etc.)
- Alternative dietary preferences (flexitarian/reduced meat diet, etc.)
- Urban food production (own food growing, community farming, etc.)
- Producer-consumer relationships (local food distribution, food box deliveries, etc.)
- Reduced demand for food (food waste, reduction, etc.)
- Inter-connectivity for optimised usage (smart appliances, LED, smart homes, etc.)
- Optimisation of buildings' thermal performance (e.g., smart heating controls)
- New service providers (energy service companies, energy aggregators, third-party financing)
- Integrating consumers into grids (demand response, time-of-use pricing, electric vehicle-to-grid, etc.)
- Decentralised energy supply (solar PV with storage, micro-wind turbines, etc.)

Sigit Perdana et al. (2023), *Expert perceptions of game-changing innovations towards net zero*. Energy Strategy Reviews. Volume 45

#3 Placer l'humain, les savoirs et le bien-être au cœur de l'économie

A. Bâtir la nouvelle génération de main-d'œuvre apte à mener les transitions

Relocaliser une partie de la production plus proche de nous et réussir les transitions numérique et écologique nécessite de regarder en face le problème du manque de compétences et de la pénurie de main-d'œuvre. La tâche est ardue et n'a, au Luxembourg, de comparable que la conversion des emplois sidérurgiques en emplois tertiaires au cours du dernier quart du siècle dernier.¹⁵⁸ Il s'agissait, alors, d'une transition parfaitement menée.

Par nature, les transitions ont besoin de personnes qui y croient et qui sont à même d'y contribuer. Aujourd'hui comme d'antan, il ne s'agit ni plus ni moins que de construire une nouvelle génération de main-d'œuvre et d'emplois apte à mener les transitions. « Le projet est complexe mais passionnant. Repenser les grands secteurs émetteurs, la mobilité, les bâtiments, la ville, l'agriculture.... Ce sont des quantités d'emplois en perspective. C'est un appel à l'imagination créatrice de la jeunesse. »¹⁵⁹ Pour cela, il faut investir sans cesse dans l'éducation, la formation, la transmission et la sensibilisation, promouvoir le bien-être, l'engagement citoyen et la productivité du travail.

Une grande campagne de sensibilisation aux métiers de la production et de la régénération écosystémique, de l'industrie à l'artisanat en passant par l'environnement et l'agriculture, peut aider à révéler des vocations. Il faut tant mobiliser les nouvelles que les anciennes compétences, valoriser les métiers artisanaux, techniques, manuels, en distinguant les métiers qui peuvent être exercés à distance de ceux qui ne le peuvent pas. Dans ce monde de consommation, il faut aussi des producteurs. A l'instar de la *Léierbud*, créons une école de la production.

La prospective peut aider à identifier et anticiper sur le long terme les emplois répondant aux mégatendances et nécessaires pour les transitions. Au Luxembourg, l'Adem anticipe les besoins futurs en main-d'œuvre et les risques de ruptures sur le marché du travail. Plusieurs études dressent le tableau des métiers de l'avenir.¹⁶⁰

¹⁵⁸ Le Luxembourg est une illustration de la destruction créative : En 1960, sur une population de quelques 300.000 personnes, 40% de la population active travaillaient dans la sidérurgie. De 1974 à 1985, les effectifs de la sidérurgie ont baissé de moitié, passant de 25.000 à 12.000 sidérurgistes. De 1975 à 1973, le secteur bancaire voit ses effectifs passer de 2.000 à près de 6.000 personnes. En 2000, la place financière occupe 23.000 personnes, un chiffre très proche donc du nombre d'emplois sidérurgiques perdus. En 2001, STATEC abandonne la catégorie « ouvrier » dans ses relevés.

¹⁵⁹ Pierre Veltz (2023) Économie désirable. Conférence Luxembourg stratégie. Présentation du 05.06.23

¹⁶⁰ Luxembourg Stratégie (2023), campagne publique. Adem Luxembourg (2021). OECD (2023), *OECD Skills Strategy Luxembourg: Assessment and Recommendations*, OECD Skills Studies. Chambre de commerce (2023), Rapport éco-innovation, ministère de l'Économie. CDM (2023), *30 propositions de l'Artisanat*

EXEMPLE : « LES MÉTIERS D'AVENIR POUR LE LUXEMBOURG »

→ Luxembourg Stratégie, Rapport sur les résultats de la campagne publique (2023) :

IT (*soft- et hardware*), santé et soins, ingénierie (toutes les spécialisations), artisanat, technologies, analyse des données, éducation, fonction publique, recherche et science, environnement, économie circulaire, agriculture/agronomie/alimentation, finance, ESG, *environmental compliance*, communication, risques climat

→ OCDE, Étude sur les compétences au Luxembourg (2023) :

Secteur manufacturier de pointe, secteur de la santé, secteur créatif, secteur numérique, secteur vert, activités scientifiques, technologies de l'information et de la communication, techniciens, finance et assurance

→ ADEM, Études sectorielles en collaboration notamment avec l'UEL (2021) :

IT (*soft- et hardware*), ingénierie d'affaires, installation et maintenance d'équipements industriels et d'exploration, ingénierie industrielle et R&D, gestion et marketing de produits numériques, analyse et gestion des données, finance verte, construction (fonctions de planification et de gestion, profils opérationnels sur les chantiers), logistique et des activités de support (ressources humaines, stratégie commerciale, conseil juridique)

“Clean energy jobs now outnumber fossil fuel jobs”

IEA's first World Energy Employment Report, 2022

La **transition des emplois** est bien en cours. Bien qu'on relève une augmentation impressionnante des emplois dits « verts » et notamment dans le domaine de la construction efficiente, au Luxembourg comme ailleurs¹⁶¹, il existe actuellement un manque aigu de personnel qualifié dans certains domaines liés aux transitions, en particulier dans la construction circulaire, les finances vertes, l'ingénierie en énergie durable, l'agroécologie ou l'agro-alimentaire. À côté des emplois dans le domaine de la numérisation et de l'automatisation, d'autres métiers de transitions concernent des filières professionnelles, pratiques, environnementales ou (*low*)techniques. Ainsi de nouveaux emplois vont voir le jour dans les domaines de la restauration environnementale, de l'entretien des puits naturels de carbone, de l'adaptation au changement climatique, de l'innovation sociétale, de l'économie sociale et solidaire, de la production-transformation-commercialisation alimentaires locales, de la climatisation naturelle ou du démantèlement de bâtiments et du *Do-it-Yourself*. D'ailleurs, le *Retail Report 2023* de la CdC constate que les magasins de bricolage ont le vent en poupe depuis le confinement lié à la crise COVID-19.

Le *LinkedIn's 2022 Global Green Skills Report*¹⁶² souligne également que la demande et l'offre d'emplois liés à l'environnement, à l'énergie et à l'atténuation du changement climatique ont augmenté de 8% et 6% respectivement, entraînant des transitions nettes positives vers ces emplois. Des travailleurs accepteraient même des salaires inférieurs pour rejoindre des entreprises qui correspondent à leurs propres valeurs.

L'étude **National Skills Strategy** présentée en février 2023 par l'OCDE conclut qu'il est primordial de mettre en place des parcours d'amélioration des compétences et de requalification, permettant aux actifs et aux jeunes de s'orienter vers des emplois plus « verts », afin d'assurer la réussite des transitions au Luxembourg. Fort de cette analyse, le MTEESS prépare actuellement un *Skills Plan* pour soutenir les besoins de main-d'œuvre qualifiée dans les entreprises via la formation continue. Le nouveau **plan d'aides à la formation continue** sera prioritairement destiné aux PME (<250 salariés), avec des taux encore plus favorables pour les petites entreprises (<50 salariés). Ce programme permettra de soutenir la gestion prévisionnelle de l'emploi et des compétences. Les mesures de **rétenion et de fidélisation** des salariés occupent également une place prépondérante au niveau des stratégies des ressources humaines des PME, notamment artisanales.

161 “Clean energy jobs now outnumber fossil fuel jobs”, voir IEA (2022), first ‘World Energy Employment Report’

162 LinkedIn (2023), *Global Green Skills Report 2023*

#3 Placer l'humain, les savoirs et le bien-être au cœur de l'économie

B. Combiner les savoirs anciens et nouveaux, les compétences *high* et *low tech*, la culture scientifique et le multilinguisme

Conformément au principe de la Vision, plutôt que d'opposer les carrières digitales et manuelles, académiques et professionnelles, les *soft* et les *hard skills*, il serait prudent de miser sur toutes les compétences nécessaires aux transitions et à la réalisation de la présente Vision ECO2050. Il faut des compétences hybrides : le recyclage implique de la mécanisation et de la digitalisation ; les métiers *low-tech* recourent aussi à la numérisation. La digitalisation est utile pour des tâches pénibles, des spécialisations introuvables ou pour baisser les coûts par l'automatisation. Les *digital jobs* devraient être combinés aux compétences relationnelles et de construction d'équipe.

L'État accompagne les entreprises et salariés dans la transition, la **reconversion** et la **requalification** d'emplois, d'activités à hautes empreintes vers celles à faibles empreintes et soutient les entreprises qui mettent à niveau leurs compétences et forment leur personnel, en veillant aux besoins particuliers de chaque groupe (jeunes, femmes, seniors).

Pour former la relève de main-d'œuvre, il faudrait exploiter pleinement le potentiel et savoir-faire des **seniors** (55 – 64 ans), dont le taux d'activité au Luxembourg est un des plus bas au sein de l'OCDE. Le nombre de personnes âgées de 65 ans et plus est amené à doubler d'ici 2050. En même temps, il s'agit d'investir dans la formation de seniors de plus de 50 ans « afin de leur permettre d'accroître leur productivité dans leur métier de base, de se reconvertir dans un autre métier ou de faciliter la transmission de leur savoir-faire aux jeunes générations ».¹⁶³

L'innovation sociétale passe aussi par la flexibilisation du travail, le *life-long-learning* et la **poly-activité**. Pour ceux qui se sentent une vocation, on peut imaginer d'alterner entre différents métiers et branches économiques, entre phases d'activité et d'inactivité (pause-carrières, temps partiels)¹⁶⁴, d'occuper un emploi principal intérieur cumulé aux travaux saisonniers manuels extérieurs (p.ex. récoltes, travaux forestiers, *Drauwelies*). Les entreprises et salariés pourraient s'entendre pour travailler sur une période de référence adaptée à leurs besoins respectifs avec une organisation du temps de travail adaptée aux fluctuations de la charge de travail et des absences de collaborateurs (*Jores-aarbechtszäit*). Pour ne pas perdre le capital de compétences accumulées au cours d'une vie professionnelle, le statut de « pensionné-mentor social-transmetteur de savoirs » pourrait être valorisé, rendant plus attractif de cumuler la pension de vieillesse avec un revenu professionnel. Quelles que soient ces évolutions à venir, les centres de compétences de l'artisanat sont appelées à jouer un rôle primordial dans la formation continue et le *life-long-learning*.

À côté de la promotion d'une attitude **positive à l'égard du vieillissement**, miser sur toutes les compétences passe aussi par la parité de genre. Par la valorisation de l'ensemble des ressources humaines, l'égalité d'accès à tout emploi, à l'éducation et à la formation tout au long de la vie, il est possible de créer un marché de travail adapté aux réalités économiques. Le développement des jeunes et des savoirs doit se faire en prenant compte de toutes leurs diversités, filles et garçons, afin de faire profiter aussi bien les filles que les garçons d'un avenir qui leur permet de jouir pleinement de leurs compétences.

Le Luxembourg affiche l'un des taux les plus bas de participation des **femmes dans la création d'entreprises**.¹⁶⁵ En général, le ratio de femmes est inversement proportionnel au degré de responsabilités des postes occupés : les postes de direction sont à 75% masculins, alors que les

¹⁶³ Fondation IDEA (2023), *Grands Défis*, p.90

¹⁶⁴ Fondation IDEA (2023), *Grands Défis*, p.99

¹⁶⁵ Chambre de commerce (2023), *Maintenir et accroître l'attractivité et la compétitivité du modèle économique*

postes d'assistance administrative sont à 57% féminins. L'industrie est particulière, 83% de ses salariés sont masculins.¹⁶⁶ Il faudra mettre en place des incitations spécifiques à l'égard des femmes afin de corriger cela et veiller à une représentation équilibrée des femmes et des hommes dans les entreprises afin de tirer profit de la complémentarité du savoir et des intérêts des genres. La mixité permet de prendre des décisions plus judicieuses et de mieux résister en temps de crise, aucune crise n'étant neutre en genre. Il est ainsi primordial de prendre en compte le savoir-faire, les besoins et le potentiel de la population entière à toutes les étapes des projets, que ce soit au niveau international, national et local, dans l'éducation, en recherche ou en économie. Les femmes peuvent agir en tant que moteur des transitions,¹⁶⁷ compte tenu du rôle qu'elles jouent en tant que consommatrices, membres influentes de leur communauté, travailleuses et entrepreneuses.

Le Luxembourg se démarque aussi l'un des ratios les plus élevés de **diplômes universitaires** par rapport aux non-diplômés.¹⁶⁸ Or, pour contribuer aux transitions, une pluralité de niveaux de formations et de qualifications est requise. Selon la FEDIL, les formations les plus sollicitées par les entreprises industrielles sont le diplôme d'aptitude professionnelle (DAP) (44%) suivi par le diplôme de master / doctorat (20%), puis par celui du technicien (13%) et du bachelor (13%).¹⁶⁹ La valorisation et l'orientation positive aux **métiers artisanaux** combinées à la reconnaissance de la valeur innovante des différents métiers artisanaux complète le tableau.

Pour comprendre ce qui nous maintient en vie, il est nécessaire d'enseigner à tous les niveaux les enjeux des transitions et de la circularité. Ceci consiste à **éduquer aux limites biophysiques**, aux lois thermodynamiques, à la criticité de l'énergie et des matières, à la complexité ou à l'innovation sociale et le rôle du consommateur. A côté de ces enseignements fondamentaux, des cours basiques de **réparation** et de **jardinage** pourraient être offerts dès l'école primaire. L'étude SOC2050 sur la désirabilité du changement comportemental, que Luxembourg Stratégie mène actuellement en collaboration avec le LISER, tente d'élucider pourquoi nous consommons au-delà de nos besoins tout en restant insatisfaits et quels leviers activer pour consommer autrement et gagner en satisfaction.¹⁷⁰ De même, des connaissances sont nécessaires pour mieux comprendre nos systèmes complexes et interdépendants, en vue de les simplifier et de les humaniser. Ainsi l'auto-fabrication ou la réparation permettent des économies financières, le contrôle et la personnalisation des travaux, l'acquisition de compétences comme le travail en équipe, et la satisfaction personnelle. Les démarches administratives sont souvent plus simples de personne à personne que par écran ou standard téléphonique interposés.

L'enseignement de l'économie devrait couvrir **l'économie des disruptions** : une économie non-linéaire exposée aux risques de profonds chocs (changement de régime), incluant les *tipping points* climatiques et sociologiques, l'effondrement d'écosystèmes, les pandémies et les migrations de masse, les technologies et politiques disruptives.

Si l'on veut que les jeunes s'exposent à d'autres curricula et orientations, il importe de leurs offrir des conditions attractives et de changer de regard sur les métiers et sur la valeur du travail. Les transitions sont aussi une opportunité pour permettre à tous les jeunes, quel que soit leurs milieux socio-économiques, de s'investir dans des études et emplois épanouissants, valorisés et utiles.

Les résultats en mathématiques et sciences sont inférieurs à la moyenne OCDE au Luxembourg. Or les compétences **STEM - science, technology, engineering and mathematics** sont nécessaires pour réaliser les grands travaux d'infrastructure envisagés dans la présente Vision. Du rattrapage est donc à faire en matière d'attractivité et d'orientation, notamment des filles et des femmes, mais aussi des **start-ups** actuellement fort focalisées sur le virtuel et fort masculines¹⁷¹, vers ces disciplines, vers les compétences digitales et vers les filières manufacturières et alimentaires, en les combinant avec

¹⁶⁶ MEGA (2018), *Part des femmes et des hommes sur le marché de l'emploi*, Observatoire de l'égalité des chances

¹⁶⁷ Cara Daggett (2022), *Feminist Energy*, présentation à la *conférence Luxembourg Stratégie* du 17.10.22

¹⁶⁸ Chambre de commerce (2023), *Maintenir et accroître l'attractivité et la compétitivité du modèle économique*

¹⁶⁹ FEDIL (2023), *L'industrie: Les jobs du futur*, Résultats de la 13e édition de l'enquête « Les qualifications de demain dans l'industrie », 23.03.2023

¹⁷⁰ Luxembourg Stratégie (2022), *Etude SOC2050, Comprendre la désirabilité du changement vers plus de résilience*

¹⁷¹ Start-up Genome (2022), *Luxembourg Startup Ecosystem Assessment and Benchmarking*, commissioned by the Luxembourg Ministry of Economy

#3 Placer l'humain, les savoirs et le bien-être au cœur de l'économie

les sciences sociales. La formation continue permettra aux personnes déjà en emploi de ne pas sortir du marché de travail de plus en plus automatisé et digitalisé.

Parallèlement à l'investissement dans les compétences des résidents, le Luxembourg devra continuer à rester ouvert au monde et à embrasser la science pour faciliter l'attraction des talents internationaux et de ressortissants de pays tiers. L'établissement d'un **statut européen de télétravailleur** pourrait être promu. Des organismes transfrontaliers de formation mutualisée en Grande Région pourraient être créés.¹⁷² Les 100.000 Luxembourgeois établis à l'étranger constituent un vivier pour construire des relais et partenaires commerciaux. Un transfert bidirectionnel de savoir-faire et d'approches innovantes serait encouragé avec les pays partenaires de la Coopération luxembourgeoise dans un cadre de "*Global Citizenship*". L'éducation au développement durable en ferait partie.

Dans un pays qui milite pour la pluralité des langues au sein de l'UE, le **multilinguisme** est un atout luxembourgeois et un avantage commercial et relationnel qu'il convient de continuer à soigner et qui pourrait devenir une industrie à part ([Brique 7](#)). La pratique linguistique évolue aussi au Luxembourg. Sous l'influence des téléconférences, webinaires et échanges digitaux sociaux qui se sont généralisés depuis le *lockdown*, l'anglais prend de plus en plus de place dans le monde économique, administratif ou académique.

La collaboration avec la **recherche** est élémentaire pour mettre en œuvre les stratégies économiques transformatrices. Des connaissances nouvelles sont nécessaires en matière de résilience et adaptation technologique, sociétale, infrastructurelle et écosystémique à un environnement et contexte de production changeant. Pour ce faire, il importe que les chercheurs puissent consacrer le gros de leur temps à leur activité de recherche plutôt qu'aux tâches et aux procédures administratives. La traduction des résultats de leur travaux et découvertes en produits et services (*carbon services* et *climate tech*) pourrait aussi être facilitée pour en assurer une diffusion maximale. Les entreprises pourraient être incitées encore davantage à investir davantage dans la recherche, de manière coordonnée avec les efforts publics. Des visites et *bootcamps* entre (jeunes) chercheurs, ingénieurs, entrepreneurs, financiers pourraient être organisés de plus en plus.¹⁷³

C. Promouvoir de nouveaux modèles d'affaires et de management (innovation organisationnelle)

Le dirigeant d'entreprise est le porte flambeau du changement : il/elle peut changer le *business model* et inspirer les collaborateurs par l'exemple. L'évolution de la productivité est fortement liée aux pratiques managériales et une bonne gestion d'entreprise est bénéfique pour la production.¹⁷⁴ Un travail épanouissant et émancipateur fait partie du bien-être des personnes. Or, le **Panorama social 2022** constate, entre 2014 et 2021, une baisse du feedback du management, de l'autonomie au travail, de la coopération entre collègues et de la participation des salariés aux affaires de l'entreprise. Cette évolution risque de mener à une baisse de la satisfaction, de la motivation et du bien-être au travail, ainsi qu'une augmentation des cas de *burn outs*, une prévalence de dépressions et de problèmes de santé physique chez les salariés.¹⁷⁵

Francesco Sarracino de STATEC Research avance qu'une **crise de confiance**, notamment envers les autres et les institutions, mine l'effort collectif vers plus de durabilité : « si les gens sont confiants que chacun fait sa part dans l'effort collectif, et que les institutions en charge de la coordination et de la

¹⁷² Fondation IDEA (2023), *Grands Défis*, p.76

¹⁷³ Chambre de commerce (2023), *Rapport éco-innovation*, ministère de l'Économie

¹⁷⁴ CES (2023), *Avis relatif au rapport 2021-2022 du CNP*, 11.7.2023

¹⁷⁵ Chambre des salariés, *Panorama social 2021*, dialogue numéro 1

redistribution sont fiables, alors les gens sont plus enclins à coopérer pour résoudre les problèmes communs. Au cas contraire, les personnes optent pour des solutions privées pour se protéger de la détérioration environnementale. L'anxiété au sujet de l'avenir et la méfiance face à l'action collective et juste peut transformer les gens en de formidables consommateurs ».¹⁷⁶

Pour répondre à la **crise du travail**¹⁷⁷ (charges émotionnelles, faible soutien des managers et collègues, peu de participation), une remise en question du management et de nouvelles formes de gestion d'entreprises semblent indiquées pour redonner envie de travailler et produire.

« Temps incertains, vies bouleversées : façonner notre avenir dans un monde en mutation »

Tel est le titre du Rapport sur le Développement Humain (RDH) du PNUD publié en 2022. Il fournit une analyse approfondie de la situation du développement humain à l'échelle mondiale afin de sensibiliser aux inégalités de développement entre les pays et de promouvoir des politiques visant à améliorer le bien-être des populations à travers le monde. Il examine divers aspects du développement, notamment l'éducation, la santé, le revenu, l'égalité des sexes ou la durabilité environnementale, et classe les pays selon l'Indice de Développement Humain (IDH) qui prend en compte des indicateurs tels que l'espérance de vie, le niveau d'éducation et le revenu par habitant. En 2021, l'IDH a pour la première fois été ajusté aux limites planétaires¹⁷⁸, plaçant le Luxembourg dans le quadrant des pays à très haut IDH et très haute pression sur les ressources.

Dans son édition de 2021/2022, le RDH analyse 3 nouvelles sources d'incertitudes qui, individuellement mais aussi par leur interaction mutuelle, freinent le développement humain, à savoir :

- les effets de plus en plus prononcés de l'Anthropocène sur la planète
- les transformations sociétales déstabilisantes liées à l'essor de nouvelles technologies et nouveaux modes de vie
- la polarisation politique et sociale détectable non seulement au sein des pays mais aussi entre eux.

Alors que l'influence des sociétés sur leur avenir n'a jamais été aussi forte, et les perceptions négatives du monde jamais aussi élevées, le rapport observe que celles-ci se manifestent de manière largement incontrôlée. Ainsi, par exemple,

- 6 personnes au monde sur 7 se sentent en insécurité et en détresse ce, malgré le « progrès » et la prospérité
- depuis la pandémie, l'IDH a reculé pour la 1ère fois de son histoire en 2020 et 2021
- la guerre en Ukraine ralentit le développement humain et les efforts de mitigation et d'adaptation au changement climatique
- le bien-être mental des personnes est menacé par les incertitudes de l'Anthropocène, qui s'articulent autour de 4 axes principaux : l'anxiété générale liée au climat, les maladies physiques, les événements traumatisants et l'insécurité alimentaire
- le changement global, l'effondrement de la biodiversité et l'épuisement des ressources naturelles sont ainsi des sources importantes de colère, d'angoisse et d'anxiété quant à l'avenir (éco-anxiété, solastalgie)
- la transition énergétique vers le PV, l'éolien et les batteries accentue les pressions exercées sur la planète

¹⁷⁶ Francesco Sarracino (2023), *How to lead happy lives in post-growth societies*, Improof.lu 05.06.23

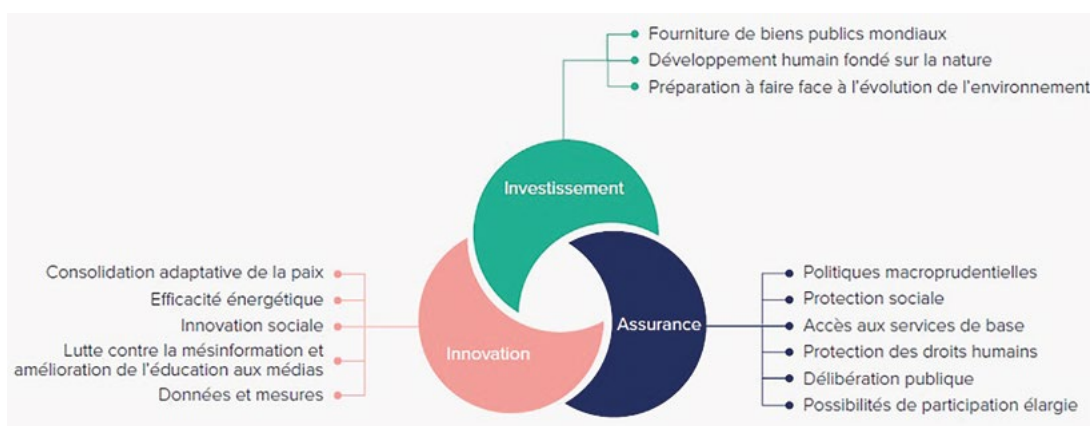
¹⁷⁷ David Graeber (2018), *Bullshit jobs: A Theory*, Simon & Schuster. Olivier Blachard et Jean Tirole (2021), *Les grands défis économiques*, France Stratégie

¹⁷⁸ UNDP (2021), *The Next Frontier: Human Development and the Anthropocene*

#3 Placer l'humain, les savoirs et le bien-être au cœur de l'économie

- les retombées bénéfiques des innovations ne sont pas équitablement réparties et creusent les inégalités (p.ex. fracture numérique)
- les évolutions techniques récentes (p.ex. réseaux sociaux, modification du génome, IA) prennent de vitesse la capacité des sociétés à en analyser les conséquences et les risques (notamment éthiques)
- la désinformation nourrit la défiance d'une frange croissante de la population envers les démocraties

Dans ces circonstances alarmantes, le rapport évoque le besoin de remettre en question la notion même du « progrès » pris au sens classique du terme et d'orienter les politiques comme illustré dans le graphique ci-contre.



Source: « Renforcer la sécurité des individus par l'investissement, l'assurance et l'innovation », RDH, Figure 10, PNUD (2022).

Néanmoins, selon le PNUD, les perspectives de plus en plus incertaines pour un développement humain favorable constituent une opportunité pour ré-imaginer l'avenir des sociétés, renouveler et adapter leurs institutions en forgeant de nouveaux paradigmes quant à leur identité et leurs valeurs. Par ailleurs, les services de base universels, comme la santé et l'éducation, sont des investissements importants dans la durabilité et permettent aussi d'étendre le développement humain de façon inclusive. Ils remplissent par ailleurs une fonction d'assurance essentielle qui contribue à stabiliser les populations face à des chocs apparemment inéluctables et encourage l'expérimentation.

La co-détermination apparaît aussi comme une piste à explorer.¹⁷⁹ Des formes de production basées sur la **coopétition** peuvent voir le jour : des alliances entre entreprises concurrentes pour développer des innovations à valeur sociétale, économique, ou environnementale ou pour mutualiser des chaînes de production ou de logistique. Développer l'usage de ces modèles semble néanmoins requérir des évolutions du droit européen.

Différentes formes possibles d'organisation peuvent être avancées : un modèle d'entreprise transfrontalière, une entreprise progressiste qui combine prospérité économique, biens publics et bien-être individuel, qui vise le long terme et tient compte des limites planétaires et qui lie une partie de la rémunération au niveau d'engagement et à la satisfaction des clients.¹⁸⁰

179 Dominique Méda et Maëllezig Bigi (2023), *Prendre la mesure de la crise du travail en France*, Le Monde 19.6.23

180 André Coupet (2020), *Les valeurs de l'entreprise progressiste*, Gestion 2020/3

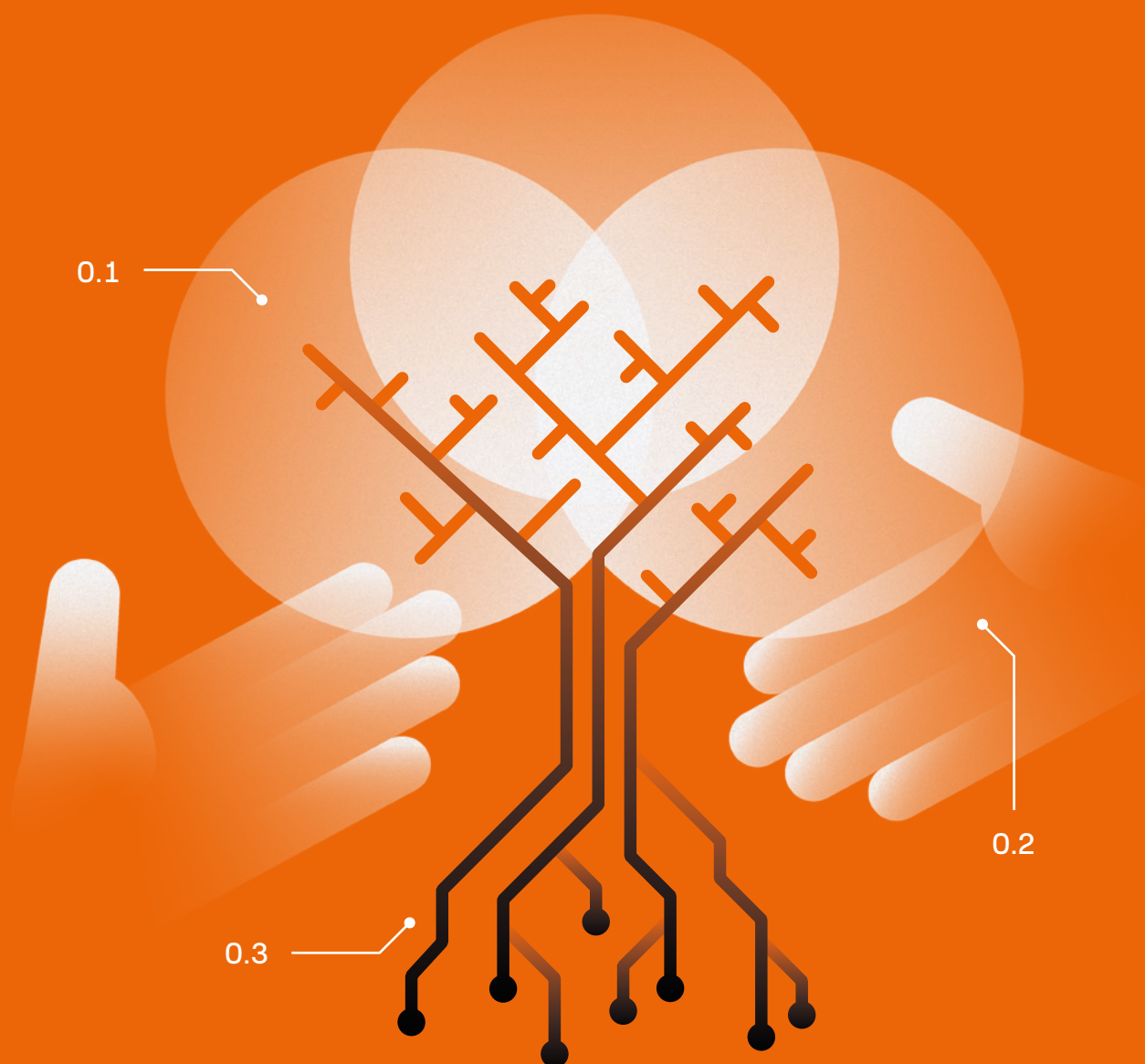
En termes de nouveaux modèles économiques et numériques, l'**artisanat** peut être à la pointe d'une toute nouvelle chaîne de production qui allie fondamentalement la conception, la production, la prestation, le service ainsi que l'après-service tout auprès d'un même producteur/prestataire artisanal, permettant l'intégration des approches de circularité et de régionalité dans la création et le développement de chaînes de création de valeur intégrales.

L'**économie du partage** participe à la réduction de l'utilisation de ressources et de la génération de déchets par une meilleure utilisation de produits sous-utilisés. Le modèle de consommation sous-jacent n'est pas basé sur la propriété mais sur l'utilisation.

L'**économie sociale et solidaire** prévoit aussi d'autres formes d'organisation. Cela inclut, selon les circonstances nationales, les coopératives, les communautés énergétiques, les associations, les mutuelles, les fondations, les entreprises sociales, les groupes d'entraide et les autres entités fonctionnant selon ses valeurs et principes (groupements de personnes et non de capitaux jouant un rôle économique et créant du lien social). L'économie sociale et solidaire devra être soutenue et la participation des salariés à la gestion et aux bénéfices des entreprises doit être encouragée. Les perspectives **d'expansion de l'économie sociale et solidaire**, alimentée par l'innovation sociale, soutenue par la nouvelle résolution de l'Organisation des Nations Unies (ONU) adoptée en avril 2023 et la refonte de la loi de 2016 sur les **sociétés à impact social (SIS)**¹⁸¹ sont les suivantes :

- Contribuer à une croissance économique plus inclusive et durable en trouvant un nouvel équilibre entre l'efficacité économique et la résilience sociale et environnementale
- Développer le *Social Business Incubator* pour en faire un centre de compétences en innovation sociale avec une offre de soutien aux entrepreneurs sociaux et aux sociétés d'impact sociétal
- Encourager des entreprises socialement innovantes en favorisant la recherche et le développement dans ce domaine
- Favoriser de nouvelles formes de croissance : une croissance qualitative et sélective plutôt que quantitative
- Harmoniser les méthodologies pour mesurer le retour sur investissement social (*Social return on investment*, ODD, *Impact Assessment*, etc.)
- Soutenir l'esprit d'entreprendre autrement dans les lycées – Les *sustainable entrepreneurial schools* deviennent la norme
- Identifier la promotion de l'entrepreneuriat social comme une des missions principales dans l'éducation
- Soutenir l'investissement dans des fonds d'impact et la micro-finance
- Augmenter la demande de biens et services issus du secteur de l'économie sociale et solidaire
- Soutenir l'innovation sociale dans les secteurs privé et public
- Soutenir des plateformes collaboratives pour encourager l'économie du partage

¹⁸¹ Loi du 12 décembre 2016 portant création des sociétés d'impact sociétal. ONU (2023), Promouvoir l'économie sociale et solidaire pour un développement durable, résolution adoptée le 18.4.2023



#4

Concilier les **transitions**
digitale, écologique
et sociale

La transformation des économies et sociétés par l'omniprésence des données et l'hyperconnectivité, qualifiée d'âge de la *datafication*, est une mégatendance universellement reconnue.¹⁸²

“Digital technologies are formidable tools. Greening them, in an inclusive way is, at the end of the day, the bigger objective behind all of this. We need to do this in a socially inclusive manner without losing people along the way. Losing people means losing the political democratic dialogue.”

Ministre de l'Économie Franz Fayot,
The twinning of the “green” & digital transitions in Luxembourg (13 Juin, 2022)¹⁸³

Aucun des trois scénarios d'avenirs plausibles de l'économie luxembourgeoise à horizon 2050 n'entrevoit un avenir sans digitalisation. Si les technologies digitales peuvent faciliter l'émergence d'un futur plus durable, elles ont également une empreinte environnementale qui n'est pas négligeable et façonnent nos relations sociales.¹⁸⁴ Comment réussir à long terme une association vertueuse entre ces trois enjeux ?

« Les opportunités qu'offre la digitalisation auront une place centrale dans la stratégie économique nationale à fixer. D'ores et déjà, la numérisation au profit de la société est au cœur des travaux du ministère de l'Économie, qui suit une feuille de route PNEC à plus court terme à ce sujet, “Ons Wirtschaft vu muer”, publiée en 2021.¹⁸⁵ Cette digitalisation doit être au service de l'être humain et non pas être une fin en soi. »

Ministre de l'Économie Franz Fayot, Chambre des Députés (février 2023)

Les attentes vis-à-vis de la **triple transition digitale, écologique et sociale** sont grandes. Pour la Commission européenne, les technologies numériques présenteraient d'énormes potentiels de croissance pour l'Europe. Des solutions numériques au service des êtres humains ouvriraient de nouvelles opportunités pour les entreprises, encourageraient le développement de technologies fiables, favoriseraient une société ouverte et démocratique, permettraient une économie durable et vibrante, aideraient à lutter contre les modifications climatiques et à réaliser la transition verte.¹⁸⁶ Or tandis que la numérisation peut permettre des réductions d'émissions, elle présente aussi des effets secondaires indésirables à moins qu'ils ne soient correctement administrés (GIEC, 2022).

Afin qu'elle tienne ces promesses, il importe que la digitalisation réussisse à réduire, et non augmenter, les besoins en énergie, matériaux, espace, et en eau, et à améliorer le bien-être, la santé, la stabilité sociale ou la démocratie. Or la digitalisation et l'IA consomment beaucoup de ressources. Les technologies numériques représentent jusqu'à 10% de la consommation énergétique de l'Europe et jusqu'à 4% de ses émissions de GES.¹⁸⁷ Le numérique peut aussi avoir des effets néfastes sur notre bien-être et notre santé (surconnexion, surveillance, isolement, perte de productivité).¹⁸⁸ Un grand effort est nécessaire pour mieux contrôler la croissance de ces consommations afin de réduire l'impact du numérique sur l'environnement et la société.

182 Competence Centre on Foresight (2023), *Accelerating technological change and hyperconnectivity*, European Commission, Knowledge for Policy. Luxembourg Stratégie, *Tableau de suivi des mégatendances*. Fidelia Ibekwe-Sanjuan (2017), *Vers la datafication de la société ?*, Transition digitale, handicaps et travail social, LEH Editions

183 Luxembourg Stratégie (2022), *Transition digitale et écologique. Séminaire BEI* Luxembourg Stratégie, *Transition digitale et écologique*

184 Anne Faure (2021), *Transition numérique : le cas français. Autour du rapport Soutenabilités ! Orchestrer et planifier l'action publique*. Présentation France Stratégie. *Conférence Luxembourg Stratégie*, 17.10.22

185 “Ons Wirtschaft vu muer, 2021” s'articule autour de 6 piliers : accélérer la numérisation de l'économie dans tous les secteurs clés au profit de la société ; mener la transition vers l'économie circulaire par le numérique ; développer des chaînes de valeur stratégique résilientes ; permettre une transformation sûre et fiable de l'économie des données ; assurer une transition numérique durable ; offrir un environnement d'investissement favorable et des instruments permettant d'atteindre une durabilité tout en restant compétitif.

186 Commission européenne, *Digital transition*

187 IPCC (2022), *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change*. France Stratégie (2020), *Maîtriser la consommation du numérique : le progrès technologique n'y suffira pas*, Working paper n° 2020-15. “Together with aviation and shipping, ICT are the sectors with the highest emissions growth rates. Digitalisation's global energy consumption increases by +9%/year, it's emissions by +1.2%.” selon European Commission (2022), *Shaping Europe's digital future*. « Les secteurs des services et des infrastructures digitales se développent très rapidement en Europe avec une croissance annuelle respective de 27.5% et 41.7% sur la période 2014-2019 » selon Eurostat (2022), *ICT sector – value added, employment and R&D*.

188 OECD (2019), *How's Life in the Digital Age? Opportunities and Risks of the Digital Transformation for People's Well-being*

#4 Concilier les transitions digitale, écologique et sociale

Par ailleurs, au titre d'une plus grande autonomie, une infrastructure souveraine s'impose, tout comme l'adoption des principes de circularité et de sobriété par le numérique. En effet, puisque leur production dépend de chaînes d'approvisionnement vulnérables, les technologies numériques n'excluent pas de recourir, de manière complémentaire, à des solutions à faible intensité technologique, à l'artisanat et à la réparation.

Trois leviers sont proposés pour mieux concilier les transitions digitale, écologique et sociétale:

- A. La digitalisation responsable – réduire son empreinte écologique et privilégier des usages vertueux
- B. La digitalisation responsable – renforcer la société, réduire les coûts, consolider la démocratie
- C. La digitalisation responsable – assurer sa souveraineté nationale

A. La digitalisation responsable – réduire son empreinte écologique et privilégier des usages vertueux

Réduire l'empreinte de la digitalisation peut se faire en amont, en limitant les impacts liés à la fabrication et à l'usage de l'infrastructure digitale et en aval, en utilisant des services digitaux pour baisser les effets néfastes et optimiser l'effet positif des activités économiques, voir pour stimuler la création d'activités économiques nouvelles.

Le numérique responsable applique les principes de **circularité** et de **sobriété** au numérique. La **sobriété numérique** fait partie des mégatendances observées par la Commission européenne, qui considère qu'une approche cohérente de sobriété numérique est indispensable pour que les TIC jouent un rôle bénéfique dans la transformation globale de l'environnement. Selon la Commission, la *digital sufficiency* consistant en "design of longer lasting services, control of complexity and resource use, production of fewer devices while ensuring their lowest possible energy consumption, software to minimise data traffic and hardware use, a more frugal approach to using digital technology. Finally, economic sufficiency can also be part of digital sufficiency as it views digitalisation as supporting the transition to production and consumption that remain within the planetary boundaries and avoid unbound growth".¹⁸⁹

189 Competence Centre on Foresight (2023), *Sufficiency*, European Commission, Knowledge for Policy

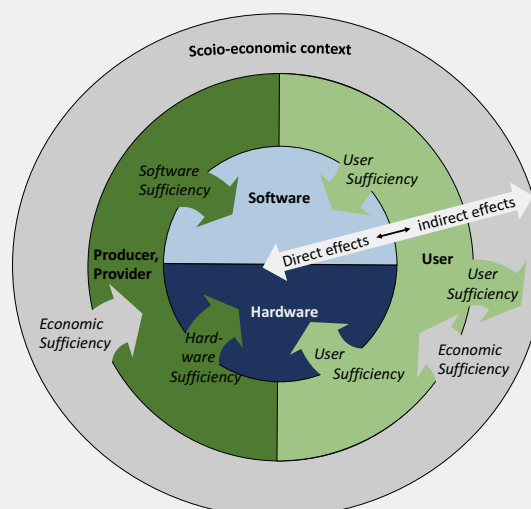
EXEMPLE : DIGITAL SOBRIETY

Hardware and software sufficiency measures aim at reducing the total environmental impact throughout the life cycle of ICT hardware and at developing software that is not driving increased data traffic and electricity use of networks.

User sufficiency concern the data traffic that users generate by their activities. Reduced traffic by, e.g., not streaming unnecessary amounts of HD videos would reduce the demand for hardware while also reducing operational energy.

Economic sufficiency concern improved labour productivity, reduced working hours, prevention of rebound effects.

Source: Tilman Santarius et al. (2022), *Digital sufficiency: conceptual considerations for ICTs on a finite planet*, Annals of Telecommunications



Interplay of the four dimensions of digital sufficiency

Une démarche de systèmes numériques responsable consiste entre autre à réduire les achats d'équipements et à allonger leur durée de vie, privilégier les équipements réparables ou issus du réemploi et intégrer leur dé-commissionnement dans les cahiers de charges, optimiser la gestion du parc des équipements, limiter le flux et le volume de données et alléger les contenus multimédia, revoir la pertinence des fonctionnalités à concevoir, se prémunir contre les effets de rebond¹⁹⁰, choisir un prestataire responsable d'hébergement de serveurs et regrouper les serveurs, refroidir les serveurs par une solution économe en énergie et en eau et viser le réemploi des équipements en fin de vie.¹⁹¹ Ainsi, la stratégie "Ons Wirtschaft vu muer" et le PNEC prévoient que le Luxembourg se distinguera par des **datacenters** modèles en termes de sobriété.

Des exemples d'**usages vertueux** de la digitalisation sont la facilitation numérique du **monitoring** et du **reporting carbone** et de la **responsabilité sociale des entreprises (RSE)**, pour ce qui est de la mesure des émissions scope 1 à 3, de l'intensité en ressources des options de décarbonation et d'investissement, de l'évolution de l'empreinte carbone, matérielle ou hydrique des produits et services, du suivi du carbone incorporé dans les matériaux de construction.

Les *digital twins* peuvent, entres autres, simuler et aider à modéliser et optimiser des systèmes énergétiques performants et les constructions du futur et le 3D printing peut accélérer la construction efficiente.¹⁹² Le *remote* and on-site data acquisition peuvent aider à gérer des systèmes énergétiques décentralisés ou optimiser la production alimentaire en serres à distance. Des tâches pénibles ou répétitives peuvent être exécutées par des machines : tri de déchets, emballage de produits, alimentation automatisée des poissons en aquaculture, etc. Des capteurs détectent des fuites d'eau ou aident à fluidifier le trafic.

La digitalisation est aussi une possibilité pour dépasser la possession, favoriser le partage et revigorer les biens et services communs : optimisation de l'allocation et de la gestion collaborative des ressources, mutualisation de l'énergie, de la chaleur, des véhicules et parkings, des cantines, des moyens de transports dans les ZAE, entre communes, entre coopératives, au-delà des frontières.

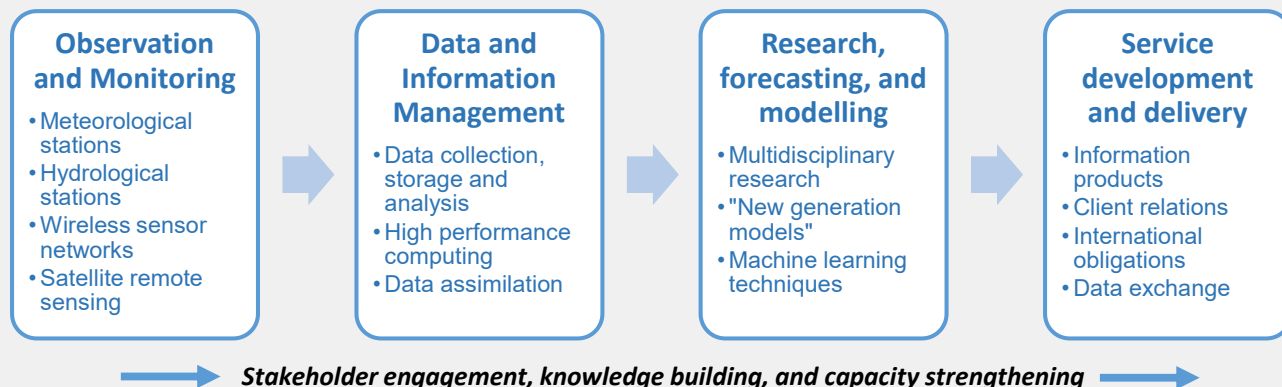
¹⁹⁰ L'augmentation de consommation liée à l'efficacité d'une technologie

¹⁹¹ Institut du numérique responsable (France) (2023), *Bonnes pratiques - numérique responsable pour les organisations*

¹⁹² Competence Centre on Foresight (2023), *Trend: Evolving resource management*, European Commission, Knowledge for Policy

#4 Concilier les transitions digitale, écologique et sociale

EXEMPLE : SERVICES DIGITAUX « VERTUEUX »



Chaines de valeur de services d'information météorologiques et climatiques.

Source: OCDE (2022), Climate Tipping Points: Insights for Effective Policy Action



Source: Rhein-Erft-Kreis/dpa



Source: <https://appvales.com>



Source: <https://www.bbc.com>



Source: <https://x.company>

La construction durable dépend d'une banque de données des volumes, caractéristiques et localisations des matériaux permettant leur réemploi. Le **PCDS digital** initié par le ministère de l'Économie est un exemple de recours au digital pour accélérer la circularité économique. Par l'information qu'il donne, le PCDS contribue à rendre des biens et produits démontables et à récupérer leur contenu et valeur. Le ministère de l'Économie a réussi à en faire une norme ISO et un outil intégré au *EU Digital Product Passport*, qui est encore plus ambitieux.

La digitalisation peut nous rendre **observateur et acteur environnementaux**. De nombreuses initiatives se concentrent sur le *crowdsourcing* de données sur l'état de la nature, p.ex. les espèces exotiques envahissantes ou les observations d'oiseaux, mais elles peuvent également être appliquées à d'autres domaines tels que la gestion de l'eau, la consommation durable, etc. Les avancées technologiques telles que l'utilisation des codes-barres permettent aujourd'hui de caractériser les écosystèmes. Elles peuvent être complétées par d'autres sources de données provenant des plateformes de médias sociaux et de la science citoyenne. L'**observation satellitaire terrestre** a aussi un grand potentiel commercial en matière de fourniture d'images pour le traçage de l'origine et de la méthode d'extraction de matières premières, de produits cartographiques facilitant la prévention de dommages aux infrastructures et l'adaptation à un environnement qui change. Les services digitaux vertueux sont présentés en détail sous la brique diversification économique 2050 ([Brique 7](#)).

B. La digitalisation responsable – renforcer la société, réduire les coûts, consolider la démocratie

Deux tiers des Européens affirment que les technologies numériques ont des conséquences positives sur la société, sur l'économie et sur leurs propres vies, mais qu'elles s'accompagnent néanmoins de nouveaux défis. La majorité des répondants estiment en effet que l'UE, les autorités des États membres et les entreprises doivent prendre des mesures pour remédier aux conséquences de ces technologies.¹⁹³ Sont mis en cause la fracture numérique entre riches et pauvres, jeunes et seniors, l'exposition aux *fake news*, l'addiction aux vidéos, jeux et files interminables de contenu, l'absence d'encadrement de l'IA. Le philosophe français Edgar Morin constate qu'à mesure que les informations défilent et les connaissances progressent, l'ignorance explose.

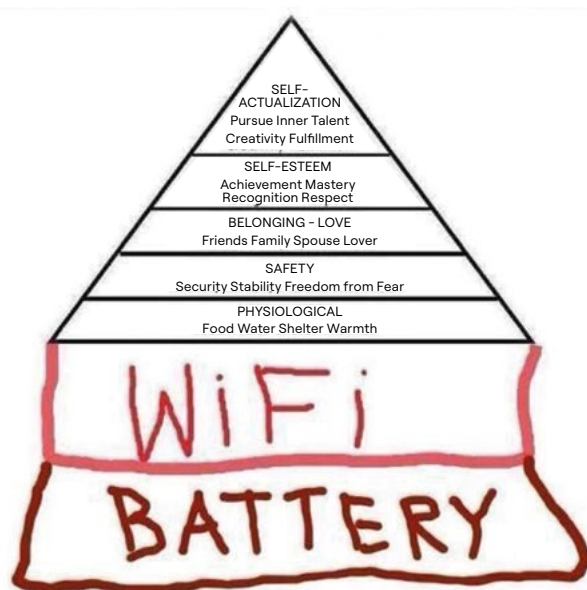


Figure 15. Maslow's pyramid of needs, revisited¹⁹⁴

Pour aider les citoyens et les entreprises à exploiter pleinement le potentiel des technologies numériques, la transition numérique doit faciliter l'innovation sociétale, renforcer le bien-être et la santé des personnes, émanciper et non aliéner l'utilisateur et affirmer la démocratie.

Le programme d'action pour la **décennie numérique**, assorti de cibles et d'objectifs concrets pour 2030, guide la transformation numérique de l'Europe.¹⁹⁵ Il vise une transformation numérique sécurisée, sûre, durable et centrée sur les citoyens, conformément aux valeurs fondamentales et aux droits fondamentaux de l'UE. Les technologies doivent unir, et non diviser, les citoyens. Les citoyens doivent pouvoir participer au processus démocratique à tous les niveaux et contrôler leurs données personnelles. Les appareils numériques doivent soutenir la durabilité et la transition écologique.

¹⁹³ Mar Negreiro et Tambiama Madiaga (2019), *La transformation numérique*, Service de recherche du Parlement européen (EPRS), PE 633.171

¹⁹⁴ Jeff Palms (2021), *Editorial: Why must the future be "digital"?*, Delano.lu

¹⁹⁵ Parlement européen et Conseil de l'Union européenne (2022), *Décision (UE) 2022/2481 du Parlement européen et du Conseil du 14 décembre 2022 établissant le programme d'action pour la décennie numérique à l'horizon 2030*

#4 Concilier les transitions digitale, écologique et sociale

Ainsi, un mode digital responsable doit veiller, dans un effort collectif, en responsabilisant tous les acteurs à ce que les droits et libertés fondamentaux de l'UE¹⁹⁶ des usagers soient garantis sans aucune discrimination :

- (Article 6) droit à la **liberté** et la **sûreté** : tous les usagers doivent être tenus à une utilisation responsable des outils de communication pour éviter des agressions, discriminations ou des campagnes de diffamation au « *deep fake* ». ¹⁹⁷
- (Articles 7 et 8) **respect de la vie privée et familiale** : le Luxembourg doit veiller à ce que la vie privée des citoyens soit garantie. Les citoyens doivent être avertis, dès leur plus jeune âge, des dangers liés au capitalisme de la surveillance. ¹⁹⁸ Les modèles commerciaux qui reposent sur la génération et la commercialisation des données des utilisateurs en attirant constamment leur attention par des messages *push* et des notifications ne doivent être autorisées que par *opt-in*.
- (Article 14) **droit à l'éducation** : tous les usagers du monde digital doivent avoir accès aux formations nécessaires pour pouvoir pleinement tirer profit des avantages du monde digital et se prévenir des dangers
- (Article 11) **droit à la liberté d'expression et d'information** : tous les usagers doivent être capables de reconnaître des campagnes de désinformation qui mettent en danger la cohésion sociale, la santé ainsi que la démocratie en Europe. Les usagers doivent pouvoir se protéger contre des moyens qui cherchent à influencer leur libre arbitre par des services volontairement trompeurs (*dark pattern*) pour les inciter à la surconsommation et la monopolisation de leur attention. La digitalisation doit aider à démocratiser les savoirs des usages dans une économie de la donnée responsable et conforme aux valeurs européennes (p.ex. logiciels et publications scientifiques en libre accès, standards digitaux et protocoles de partage de données harmonisés entre État membres, nombre réduit d'intermédiaires et d'update , etc.)
- (Article 21) **non-discrimination** : lors du recours aux algorithmes dans des processus de décision ou présélection (comme les recrutements), des biais ou mauvais paramétrages sont évités afin de garantir la neutralité du processus, l'égalité des chances entre candidats tout en promouvant la parité entre sexes.
- (Article 35) **protection de la santé** : tous les usagers doivent être avertis par rapport aux dangers d'une surconsommation de contenus en ligne¹⁹⁹ et des services promouvant l'addiction (gestion des notifications).

L'**âge de la datafication** s'accompagne d'une autre tendance lourde, aggravée par la crise COVID-19 : l'âge de la solitude qui concerne de plus en plus les jeunes.²⁰⁰ Les mesures en place et à venir concernent la fourniture d'équipements ergonomiques, de produits et formats pour personnes âgées ou à handicaps²⁰¹, la réglementation en vue de la limitation du temps d'écran pour les jeunes, la sensibilisation à la manipulation, l'encadrement de l'incitation à la surconsommation, l'instauration d'un droit à la déconnexion, la prévention de la dépossession face aux algorithmes et réseaux sociaux, les restrictions de téléphones portables dans les établissements scolaires. Le recours aux médias sociaux ou services numériques doit être encadré afin de ne pas aliéner les personnes, les pousser à la surconsommation, monopoliser leur attention ou influencer leur libre arbitre par des services volontairement trompeurs (*dark pattern*) et addictifs (gestion des notifications).

196 Communautés européennes (2000), Charte des Droits Fondamentaux de l'Union européenne, Journal officiel 2000/C 364/01. Commission européenne (2020), Berlin Declaration on Digital Society and Value-based Digital Government

197 Vejay Lalla et al. (2022), Intelligence artificielle : les deepfakes dans l'industrie du divertissement, OMPI Magazine

198 Shoshana Zuboff (2018), *The Age of Surveillance Capitalism: The Fight for a Human Future at the New Frontier of Power*, New-York: Public Affairs

199 Voir Zenter fir exzessivt Verhalen a Verhalenssucht

200 Neil Howe (2019), *Millennials and the Loneliness Epidemic*, Forbes. Clea Skopeliti (2023), *'Socially stunted': how Covid pandemic aggravated young people's loneliness*, The Guardian

201 Voir les dispositions déjà en place sur le Portail de l'accessibilité numérique

Les conséquences négatives sur le développement des enfants exposés aux écrans et aux médias sociaux sont avérées. Un système juridique complet protège les enfants, la vie privée, les données personnelles. Une protection stricte des données aiderait à détourner l'intérêt de « l'économie de l'attention » – les modèles commerciaux qui reposent sur la génération et la commercialisation des données des utilisateurs. Pour réduire les pratiques qui attirent l'attention, *push messages* et les notifications ne doivent être autorisées que par *opt-in*.²⁰²

« Les nouvelles technologies et le divertissement ont établi une domination sur nos loisirs et notre temps libre. Les écrans ont pris le pouvoir sur notre attention. Le temps gagné à force d'ingéniosité, de découvertes scientifiques et d'innovation étourdissantes est utilisé de façon dérisoire à scroller le fil de l'infini (*forever scroll*) de vains contenus. Il est urgent de mieux transmettre à tous l'art difficile de résister à soi. Il s'agit de mieux vivre, c'est-à-dire grignoter du temps sur les tâches contraintes mais surtout assurer les conditions de subsistance. Le facteur de réussite qui paraît aujourd'hui le moins reconnu est l'effort. L'effort peut même dépasser l'intelligence comme facteur de réussite. Car le triomphe du divertissement est en fait celui de l'ennui et du besoin de reconnaissance. Une éducation reposant sur une discipline de fer sera nécessaire. Le nouvel équilibre dans l'usage des loisirs repose sur une philosophie de procrastination du plaisir par opposition à son immédiateté. »

Olivier Babeau, **La tyrannie du divertissement**, 2023

L'outil digital peut organiser le passage de la possession à l'utilisation d'un bien (*leasing*, *car-sharing*, *crowdfunding*, *plateforme cooperatives*, *Internet of things*). Il ouvre l'accès aux savoirs et savoir-faire en digitalisant les manuels et référentiels techniques.

Dans la création et la gestion du « *smart grid* »²⁰³ luxembourgeois, la digitalisation joue un rôle prépondérant dans la **maîtrise des coûts** de l'électricité en régulant la production, la consommation et le stockage local (lissage de crête) et en promouvant l'autoconsommation décentralisée ou en améliorant les performances énergétiques (*smart metering*).

Il importe aussi de faire le monitoring de l'impact de la digitalisation sur la productivité et compétitivité des entreprises.

C. La digitalisation responsable – assurer la souveraineté nationale

En privilégiant un numérique souverain, le respect de la vie privée des utilisateurs de services numériques peut être mieux assuré. Pour préserver la souveraineté d'un monde digital responsable, il est nécessaire de garantir sa résilience par rapport à beaucoup de facteurs, comme notamment la disponibilité de l'énergie décarbonnée nécessaire, de réseaux de communication non interrompus et de confiance, de talents, de capacité à détecter et mitiger des activités malicieuses et une faible dépendance envers des décisions commerciales abusives ou des ingérences extraterritoriales.

Le Luxembourg continue à jouir de réseaux de communication fiables à haute capacité et faibles latences qui d'un point de vue coûts sont inclusifs et non discriminatoires pour les citoyens et pour les entreprises.²⁰⁴ Des services de confiance et de haute valeur ajoutée contribuent de façon efficace au niveau de sécurité et de qualité d'un Luxembourg digital. L'avenir consisterait dans une infrastructure de distribution de clés quantiques accessibles de façon non-discriminatoire aux secteurs public et privé et garantissant des canaux de communication hautement sécurisés.²⁰⁵

202 Tilman Santarius et al. (2022), *Digital sufficiency: conceptual considerations for ICTs on a finite planet*, Annals of Telecommunications

203 Creos Luxembourg, *Smart Grid*

204 Voir *MyConnectivity*

205 ME (2022), *Approbation du 1er jalon du projet Luxembourg Quantum Communication Infrastructure IAb (LUQCIa) démarré en mars 2022* au sein de l'Université du Luxembourg, Communiqué

#4 Concilier les transitions digitale, écologique et sociale

Le Luxembourg a des programmes de formation et de réorientation pour couvrir au moins la moitié de ses besoins en ressources humaines capables de faire évoluer et gérer les réseaux et applications digitales. Au moins un tiers de ses talents sont féminins. Les technologies digitales font partie entière des formations de base dès le plus jeune âge.

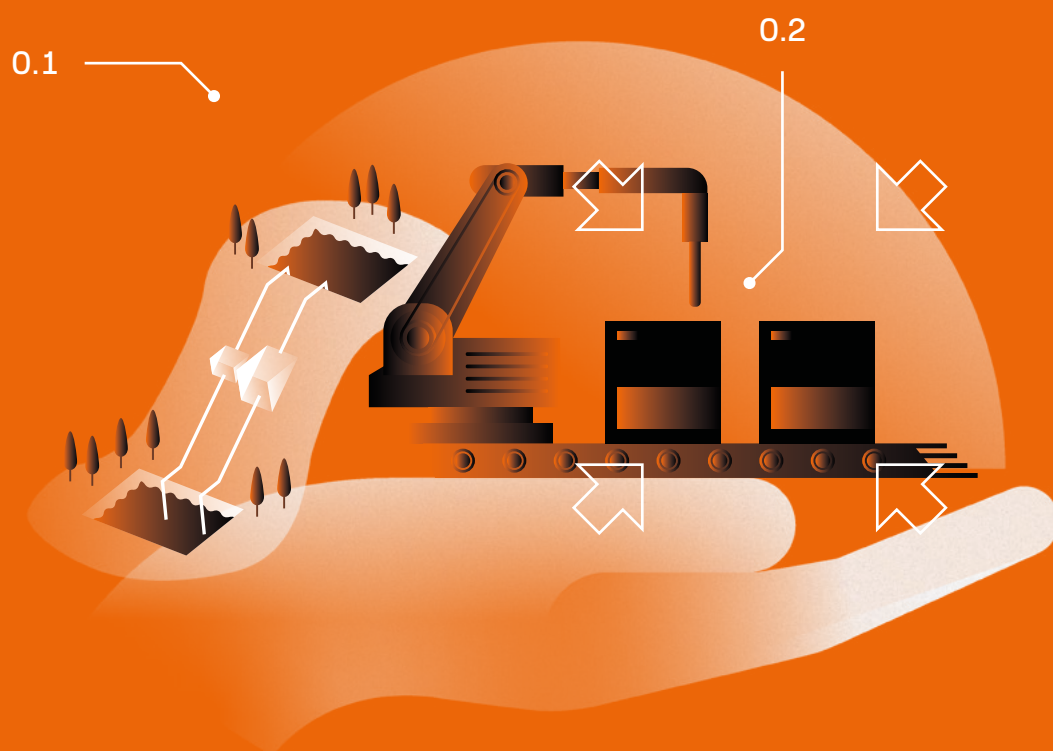
Les services de sécurité pour garantir la résilience digitale des usagers privés et publics sont non-discriminatoires d'un point de vue coût et complexité. Les grands potentiels de synergies dans le domaine de la sécurité de l'information sont capitalisés en promouvant la collaboration opérationnelle, l'échange d'informations, la recherche et l'innovation et une gouvernance informée. Le Luxembourg gère un *data space* ouvert pour la cybersécurité pour promouvoir la recherche et l'innovation et accélérer l'identification d'activités malicieuses. Le Luxembourg dispose d'outils de sécurité de pointe accessibles aux PME et citoyens ne nécessitant pas d'interventions d'experts.

Un numérique souverain peut apporter au Luxembourg la maîtrise de ses données (réversibilité des données auprès des fournisseurs, protection des données, localisation des données sur le territoire national, format ouvert des fichiers etc.) mais également la liberté de pouvoir migrer sur des systèmes informatiques *open source*, qui réduisent l'exposition à des risques liés aux décisions commerciales et politiques abusives tout en facilitant la collaboration et l'échange.

L'économie de la donnée accélère son envol et améliore son indépendance, de disposer d'une infrastructure numérique de haut niveau, inspirant confiance. Pour être cohérent avec l'objectif de conciliation des transitions digitales et écologiques, il s'agit d'investir dans des infrastructures IT souveraines de « haute valeur ajoutée ». Des composantes d'un tel système numérique national sont un *cloud* et un réseau *edge-cloud* national, une haute capacité de calcul par ordinateur, une plateforme nationale d'échange des données, des modèles auditable d'IA et un service de "*data steward*" qui veille à une haute qualité et interopérabilité des données (GAIA-X) facilitant la capitalisation de synergies et promouvant l'innovation et la recherche. La technologie de la *blockchain* présente des opportunités (*public sector blockchain*²⁰⁶) et des risques à circonscrire (crypto-monnaies). En privilégiant l'*open source* (réutilisation de codes sources existants) les temps de développement du secteur IT sont appelés à se réduire et les applications à devenir plus facilement interopérables. L'altruisme en cybersécurité augmente la résilience de tout l'écosystème luxembourgeois.

Ainsi, les infrastructures IT mises à disposition doivent être de très bonne qualité, offrant des solutions sécurisées de haute valeur ajoutée et présentant les plus faibles empreintes énergétique, matérielle, surfacique et hydrique possibles.

206 Gouvernement du Grand-duché de Luxembourg, *Le Luxembourg se veut pionnier européen dans le monde du blockchain*, et *Infrachain*



#5

Investir dans la **redondance** critique, le **stockage** stratégique et les solutions dédoublées

La crise COVID-19 a révélé l'importance d'assurer la continuité et le bon fonctionnement des secteurs vitaux que sont la santé, l'informatique, l'énergie ou l'eau potable et de continuer à fonctionner en temps de crise. La résilience, en tant que capacité de rebondir et se transformer après des chocs prévisibles ou imprévisibles pour mieux leur résister à l'avenir, est au cœur de la Vision.

La résilience peut venir sous différentes formes. Les autres chapitres ont abordé la résilience en termes de production physique et digitale souveraine, de diversification des approvisionnements et des branches économiques, d'innovation technologique et comportementale, de *fuel switch*, d'efficacité, de circularité et de sobriété et de plans de gestion des crises. Nous avons vu que la résilience sociétale et individuelle se nourrit de cohésion sociale, d'accès équitable aux opportunités économiques et à un travail de qualité, d'un sentiment de bien-être et d'*empowerment* et de stabilité psychologique. Être en bonne santé fait aussi partie de la résilience individuelle.

Les différents types de résilience ont comme point commun qu'ils sont basés sur une forme ou une autre de réserves, de *fall back*, de tampon ou capacité d'absorption, de stocks. Un peu comme dans la nature, où faune et flore font des réserves avant l'hiver ou la sécheresse, ou où les océans absorbent la chaleur excessive causée par les perturbations climatiques.

Ce chapitre traite plus particulièrement de la résilience infrastructurelle et fonctionnelle dont les leviers sont la redondance critique, le stockage stratégique et les solutions dédoublées.

Pour que l'économie soit plus résiliente face aux chocs, se remette plus vite des perturbations et ait accès en tout temps à l'énergie, à l'eau, aux moyens de communications ou aux services de santé et ce à prix stables, il est recommandé, après avoir distingué les usages de nécessité de ceux relevant de la commodité, d'investir dans des **solutions de back-ups** pour ce qui est de ces biens et services vitaux.

La redondance critique est une réponse aux risques issus des pandémies, des perturbations de l'environnement, des tensions internationales (cyberattaques, approvisionnement, conflits). Une réserve d'experts en **cybersécurité** devrait être mise en place pour intervenir rapidement en cas d'une cyberattaque d'envergure sur les infrastructures critiques. Dans tous les cas, il est bon de s'assurer contre des risques auxquels nous ne pouvons pas penser, et pour lesquels il n'y a pas encore particulièrement d'urgence ou de gravité. La Vision ECO2050 invite à adopter, partout où cela est critique et pertinent, un mode de fonctionnement en **double circuit** plutôt que de ne se fier qu'à un seul type de solutions.

La redondance fait référence à la capacité de **réserve** créée à dessein au sein des systèmes afin qu'ils puissent faire face aux perturbations, aux pressions extrêmes ou aux augmentations de la demande.²⁰⁷ Cela inclut la diversification, la présence de multiples façons de répondre à un besoin donné ou de remplir une fonction particulière, et l'autonomie, c'est-à-dire sans dépendre d'autres pays, de laquelle l'efficacité, la circularité ou la sobriété sont des leviers.²⁰⁸

207 Dans le contexte du corps humain, des exemples de redondance portent à la fois sur le dédoublement de certains organes (p.ex. yeux, poumons, reins, etc.) et sur la capacité à compenser certaines fonctions (p.ex. la fonction d'un muscle endommagé peut être compensée par d'autres muscles, le système immunitaire repose sur plusieurs lignes de défenses et comprend des barrières physiques, des cellules immunitaires et des anticorps, les vaisseaux sanguins sont ramifiés de sorte à pouvoir assurer des relais en cas d'obstruction, etc.).

208 ARUP Project (2021), Luxembourg in Transition, Stage 1 report p. 13

#5 Investir dans la redondance critique, le stockage stratégique et les solutions dédoublées

La résilience par la redondance concerne particulièrement certaines **infrastructures et activités critiques**.²⁰⁹ Le **Haut-Commissariat à la Protection nationale (HCPN)** définit les infrastructures critiques comme suit : « Alors que certaines menaces pèsent sur l'ensemble de la population et du territoire, d'autres portent sur des infrastructures particulières dont la préservation et le bon fonctionnement revêtent une importance essentielle pour la sécurité nationale et la continuité des fonctions sociétales. Les infrastructures critiques telles que les centrales et les réseaux électriques, les oléoducs, les aéroports et les gares ferroviaires peuvent subir des dommages, faire l'objet d'interruptions ou encore être détruites par des actes terroristes délibérés ou par des catastrophes naturelles, par négligence, accident ou piratage informatique, du fait d'activités criminelles ou d'actes de malveillance. » Le HCPN coordonne les questions liées à la protection des infrastructures critiques nationales et européennes.

La redondance peut être atteinte par le dédoublement géographique d'une infrastructure, la mise en réserve de pièces de rechange ou composants vitaux ou la distribution de fonctions critiques à travers des réseaux physiques ou digitaux. La redondance contribue à la résilience, au même titre que la robustesse, la réparabilité ou l'adaptation de l'infrastructure aux extrêmes climatiques. Les **datacenters** sont de bons exemples de fonctionnement redondant (système de refroidissement dédoublés, groupe électrogène ou batteries de *stand-by*, fonctionnement *on-* et *offgrid*, réserve d'eau, etc.). Certains hôpitaux ont des blocs opératoires complètement dédoublés, le second prend le relai si le premier est défaillant (*fault tolerance*). La conception des établissements hospitaliers inclut à priori une duplication des alimentations (eau, électricité etc.) et des solutions de remédiation aux incidents et catastrophes. Le gouvernement de Norvège a ouvert une banque mondiale de graines et semences, afin de pouvoir redémarrer la production alimentaire en cas de cataclysme.²¹⁰ Pour les avions, certaines pièces critiques des systèmes de contrôle sont même triplées. Renforcer le réseau électrique européen pour fournir de la flexibilité et servir de capacité de *back-up* est un autre exemple de redondance.

La redondance infrastructurelle et fonctionnelle vise à augmenter la sécurité d'approvisionnement vital, à réduire les vulnérabilités face aux *blackouts* ou pénuries et, *in fine*, à assurer la continuation des fonctions essentielles de l'État. Si elle a elle-même un coût, elle permettrait d'avoir une certaine emprise à long terme sur les prix afin de garantir un coût abordable et stable pour les besoins de base en énergie et matière en cas d'augmentation excessive de leurs cours. Il s'agirait de mettre en place des réserves et des solutions dédoublées pour rester, en circonstances imprévisibles ou incertaines, en capacité de fournir les produits et services prioritaires à la population.

La résilience infrastructurelle inclut la notion d'adaptabilité et de flexibilité. Vu le nombre d'années requis entre la conception et la mise à disposition p.ex. d'un établissement scolaire ou d'une station de potabilisation et stockage de l'eau et les difficultés à prédire les capacités à prévoir, tant en termes de volume que de équipements spécifiques à cette échéance, il est recommandé²¹¹ de (entre autres) :

- Construire des **infrastructures modulables et transformables** en fonction des besoins
- Inclure des **zones « tampons »** (*buffer zones*) qui peuvent être aménagées en fonction des besoins émergents

²⁰⁹ La loi modifiée du 23 juillet 2016 portant création d'un Haut-Commissariat à la Protection nationale définit dans son article 2 (4) une « infrastructure critique » comme « tout point, système ou partie de celui-ci qui est indispensable à la sauvegarde des intérêts vitaux ou des besoins essentiels de tout ou partie du pays ou de la population [...] ». Le recensement des infrastructures critiques se fait en fonction de différents critères, dont l'incidence potentielle économique. Elle se mesure à l'aide de l'ampleur des pertes économiques, de la dégradation de produits ou de services, des parts de marché touchées en termes d'utilisateurs, du coût de la reconstruction, du coût d'utilisation d'alternatives, du % de la production totale du secteur affecté ou encore de l'ampleur du chiffre d'affaires réalisé à la commercialisation touchée, exprimé en % du PIB ou en % du chiffre d'affaires généré par le secteur. La Commission européenne définit les infrastructures critiques comme suit : « les installations physiques et des technologies de l'information, les réseaux, les services et les actifs qui, en cas d'arrêt ou de destruction, peuvent avoir de graves incidences sur la santé, la sécurité ou le bien-être économique des citoyens ou encore le travail des gouvernements des États membres. ». Voir Commission des communautés européennes (2006), *Communication de la Commission sur un programme européen de protection des infrastructures critiques*, 12 décembre 2006.

²¹⁰ Svalbard Global Seed Vault

²¹¹ WHO Regional Office for Europe (2023), *Hospitals of the future: A technical brief on re-thinking the architecture of hospitals*, Copenhagen

L'option de recourir aux éléments modulaires qui peuvent être conçus, acquis, aménagés, assemblés et installés sur site en quelques mois à moindre coût – et qui sont recyclables, voire peuvent être cédés sur le marché secondaire, le cas échéant, devrait être considérée dans une logique de sobriété et d'adéquation flexible aux besoins fonctionnels qui ne cède rien à l'esthétique, l'agrément et la qualité.²¹²

Pour être *future proof*, les grands travaux d'infrastructures, conçus pour nous mettre à l'abri de chocs, doivent eux-mêmes être à l'abri des chocs : l'IEA appelle les dirigeants à concevoir les grandes infrastructures et sites de sorte qu'ils résistent aux **extrêmes climatiques** et aux ruptures d'approvisionnement tout en émettant le moins possible.²¹³ Depuis 5 ans, les stations météorologiques constatent que les vents sont moins forts en été en Europe. Il serait crucial de tester et modéliser les systèmes et infrastructures pour différents scénarios climatiques et pour les conditions météorologiques extrêmes et non médianes, et de provisionner pour des périodes de vents faibles. Le maintien, la transmission et l'adaptation des **capacités à concevoir, financer et réaliser de grandes infrastructures** grises (construites par l'homme assisté par l'énergie) et vertes (solutions basées sur la nature, sans apport d'énergie ou de matières) serait donc nécessaire.

EXEMPLE : NATURE-BASED SOLUTIONS FOR ASSET PROTECTION, JURONG ISLAND, SINGAPOUR

Jurong Island, the island that powers Singapore, a world top oil refinery and chemical manufacturing hub, turns to green infrastructures for flood defence



Source: <https://www.businesswire.com>



Source: <https://www.jtc.gov.sg>



Source: <https://medium.com>

Jurong Island houses critical infrastructures required for Singapore's energy security and economy. In low-lying areas and coastlines, the government is test-bedding a nature-based solution on the island that works to enhance flood resilience against future projections of more intense and frequent storms due to climate change.

Known as the Jurong Island pond, this solution covers an area of about 9 hectares and is designed to make use of existing ground conditions to build up flood resilience.

Il importerait en particulier de développer des **solutions basées sur la nature**. Elles font parties des mégatendances observées par la Commission européenne.²¹⁴ Par solutions basées sur la nature, on entend des infrastructures alternatives, qui produisent les mêmes résultats que les infrastructures construites par l'homme, intenses en matériel et assistées par l'énergie, en plus de co-bénéfices (régulation du climat, apport de nutriments, filtration d'eau, récréation, santé, tourisme, alimentation, etc.).²¹⁵ Un exemple peut être la gestion des inondations par des canalisations en béton et des pompes ou par la renaturation de cours d'eau, la rétention naturelle dans la végétation ou la possibilité d'expansion des excès d'eau en zones inondables et humides. La régulation de la température dans les maisons peut dériver de la chaudière ou de l'air conditionné assisté par la domotique, ou de la

212 Voir à ce sujet les très beaux exemples réalisés au Royaume-Uni : [Modular Hospital Building | Healthcare Buildings | Premier Modular](#)

213 IEA (2022), Electricity Report

214 "Ecosystem approaches, Green and Blue Infrastructures (as opposed to grey 'building' infrastructures), and Nature based Solutions (NbS, i.e. the use of nature for tackling challenges) offer an inclusive conceptual basis for environmental policy. These include the contribution of ecosystems to the people and the economy (ecosystem services), ecosystems as safety nets (carbon storage and sequestration, disaster risk reduction), ecosystems as a pool for biodiversity, and ecosystems and their social benefits (jobs, recreation, health). NbS involves locally adapted, resource-efficient and systemic interventions." Voir European Commission (2023), [Trend: Evolving resource management](#), Competence Centre on Foresight, Knowledge for policy & European Commission (2022), [Brief me on nature-based solutions](#). Knowledge for policy

215 World Bank (2023), [Assessing the Benefits and Costs of Nature-Based Solutions for Climate Resilience: A Guideline for Project Developers](#)

#5 Investir dans la redondance critique, le stockage stratégique et les solutions dédoublées

construction bioclimatique ou passive.²¹⁶ La fraîcheur des villes peut dériver d'arbres et de corridors d'air frais. Les eaux usées peuvent être traitées mécaniquement ou chimiquement ou en lagunage. Les solutions « vertes » ont de multiples co-bénéfices environnementaux et certaines coûtent moins chères que leurs contreparties « grises ».²¹⁷

La relocalisation industrielle, la production locale d'énergie, de matériaux et d'aliments et la réhabilitation environnementale, la connexion au réseau européen de trains, y compris de nuit, d'électricité ou de canaux (fret fluvial) sont d'autres leviers de résilience territoriale. A ce propos, le Luxembourg pourrait se mobiliser pour revoir les règles de l'UE pour les **Important Projects of Common European Interest (IPCEI)**, dont les fonds sont gérés par la Banque Européenne d'Investissement (BEI), pour permettre aux projets industriels plus petits de se qualifier. Par ailleurs, réhabiliter les écosystèmes contribue à pérenniser leurs fonctions de fourniture d'eau, d'air, de matières et de sol de bonne qualité. Cette réhabilitation présente également des avantages financiers en contribuant à limiter les coûts d'investissement dans des infrastructures grises.

Non seulement des stocks seraient créés et des infrastructures seraient rendues redondantes, mais les **solutions seraient également dédoublées**, au sens de conserver une diversité de solutions pour les biens et services vitaux afin de ne pas remplacer une vulnérabilité par une autre, p.ex. en misant à 100% sur la mobilité électrique ou sur le stockage en batteries, nous restons dépendants de la disponibilité des minéraux comme le cobalt, le lithium ou le nickel, dont l'approvisionnement est exposé à d'autres vulnérabilités (concentration géographique de la production ; risques géopolitiques ; extraction, transformation et acheminement carbonés ; etc.).

EXEMPLE : SOLUTIONS DÉDOUBLÉES À SYSTÉMATISER

- **Méga- et micro-projets** (p.ex. : stockage des énergies variables, barques plus petites pour naviguer en eau basse, etc.)
- **Mitigation et adaptation** (réduction des émissions/ adaptation aux effets des perturbations environnementales)
- **Infrastructures grises et vertes** (p.ex. : canalisations et pompes/ plaine d'inondation pour gérer l'eau. Climatisation électrique/ ventilation naturelle, etc.)
- **Systèmes centralisés et décentralisés** (p.ex. : interopérabilité du réseau électrique européen/ PV ou batteries ou citernes d'eau au niveau des habitations)
- **Système actif/assisté et passif** (p.ex. : stockage en batteries/ stockage géologique ou gravitationnel)
- **Savoir-faire moderne et high tech et traditionnel et low tech** (robustesse, réparabilité)
- **Solutions mécaniques et digitales** (pour se prémunir contre les attaques numériques ou coupures d'électricité, etc.)
- **Solutions technologiques et comportementales** (p.ex. : efficacité des voitures/ réduction de la mobilité contrainte ; offre de technologies plus efficaces/ baisse de la demande de biens et services)



Refroidissement assisté par l'énergie
Source: <https://commission.europa.eu>



Refroidissement bioclimatique, baghirs, Iran
Source: <https://www.flickr.com>



Cheminées solaires, Coopération luxembourgeoise au Niger, 2016
Source: LuxDev (2016), construction bioclimatique au Niger

Un autre exemple de dédoublement vital concerne la mise à disposition d'électricité décarbonée de qualité et à prix compétitif. Elle est très convoitée et l'offre est inférieure à la demande. Les conflits d'usages existent entre les besoins existants de l'industrie, de la mobilité, de l'agriculture (engrais), des *datacenters*, auxquels s'ajoutent les besoins additionnels de la climatisation, de la 5G, des pompes à chaleur, des *e-fuels*, de l'hydrogène vert.

Combiner différents moyens pour augmenter la résilience économique est aussi l'option prise par la stratégie d'approvisionnement du Royaume-Uni, qui repose sur la diversification des sources d'approvisionnement, les partenariats internationaux, le stockage et capacités d'appoint, le *onshoring* et la gestion de la demande.²¹⁸

Pour ce qui est du **stockage stratégique**, une priorité concernerait l'énergie. La Commission européenne estime que le besoin de technologies de stockage en Europe va se multiplier d'ici 2050.²¹⁹ Avec la croissance de la pénétration des énergies incertaines et variables, les coûts montent car le système augmente en complexité de gestion et perd en fiabilité et en sécurité. Seulement avec le stockage énergétique pouvons-nous utiliser les énergies renouvelables de manière permanente et pouvons-nous augmenter leur pénétration dans le réseau. Le stockage est une condition de la sécurité et de l'indépendance énergétique (KBR). Il est nécessaire pour créer des systèmes électriques stables, fiables, bas-carbone et à prix abordables et compétitifs pour les usages domestiques et commerciaux. Si les prix de l'électricité et des terres rares pour batteries montent, l'investissement dans le stockage terrestre (stations de pompage-turbinage) pourrait devenir rentable.

En termes de redondance, il faudrait combiner les technologies en fonction de leur efficience, durée de stockage, coûts et intensité en ressources, y compris, au Luxembourg, en surface et en eau. Différentes techniques possibles de stockage d'énergie peuvent être étudiées.²²⁰ Les solutions gravitationnelles, thermiques ou géologiques ont l'avantage d'utiliser, en plus de solutions technologiques (batteries, *flywheel*, etc.), les opportunités naturelles du territoire, qui dépendent moins de l'importation des métaux rares et chers.²²¹

Étant données les implications budgétaires résultant des investissements lourds dans la redondance et les empreintes matérielle et énergétique incorporées dans la redondance et le dédoublement, il s'agirait d'identifier et de hiérarchiser, sur base du meilleur ratio coûts/bénéfices sociaux de long terme et de manière participative et factuelle, les besoins futurs en infrastructures et services critiques sur les 30 ans à venir.²²² Pour être efficient et efficace, il importerait aussi de standardiser des designs facilement reproductibles, de capitaliser les meilleures pratiques, de mutualiser avec les pays voisins. Une première étape consisterait à concevoir des **plans budgétisés de résilience économique** face aux chocs. Un premier pas dans cette direction a été fait par l'étude RISK2050 initiée par Luxembourg Stratégie en 2022.²²³

218 Department for International Trade (UK), *Supply Chains Resilience Framework*

219 European Commission (2020): *Study on energy storage – Contribution to the security of the electricity supply in Europe*, Final Report

220 P.ex. Scientific Foresight (STOA) (2023), *What if increased energy storage could help fix climate change?*, podcast du European Parliamentary Research Service

221 Un exemple de planification de moyenne station de pompage turbinage existe en Grande Région, à Trier. Voir *Pumpspeicherkraftwerk Rio*

222 Fondation IDEA (2023), *Grands Défis*, p.114

223 Luxembourg Stratégie (2023), *Étude RISK2050*. Ministère de l'Économie Luxembourg Stratégie (2023), *Étude RISK2050* Ministère de l'Économie

#5 Investir dans la redondance critique, le stockage stratégique et les solutions dédoublées

EXEMPLE : THE DUTCH WATER DEFENCES INDUSTRY, A PUBLIC GOOD AND BUSINESS CASE

NL Delta plan for achieving flood protection, freshwater availability and spatial adaptation goals by 2050. Delta Fund 2021-2034, EUR 19 billion

“The time for freedom of action is over: we need to speed up to keep our delta safe and liveable.”

“The urgency is increasing, due to the changing climate. Such investments are especially crucial now to sustainably foster our economy and to enhance the resilience of our society. With Covid, we have experienced, more than ever before, how important it is for our vital sectors such as health care, IT, and the power, gas, and drinking water supply, to continue to operate during a crisis. Measures to **climate-proof vital and vulnerable functions** must be intensified.”

Peter Glas, Delta Commissioner

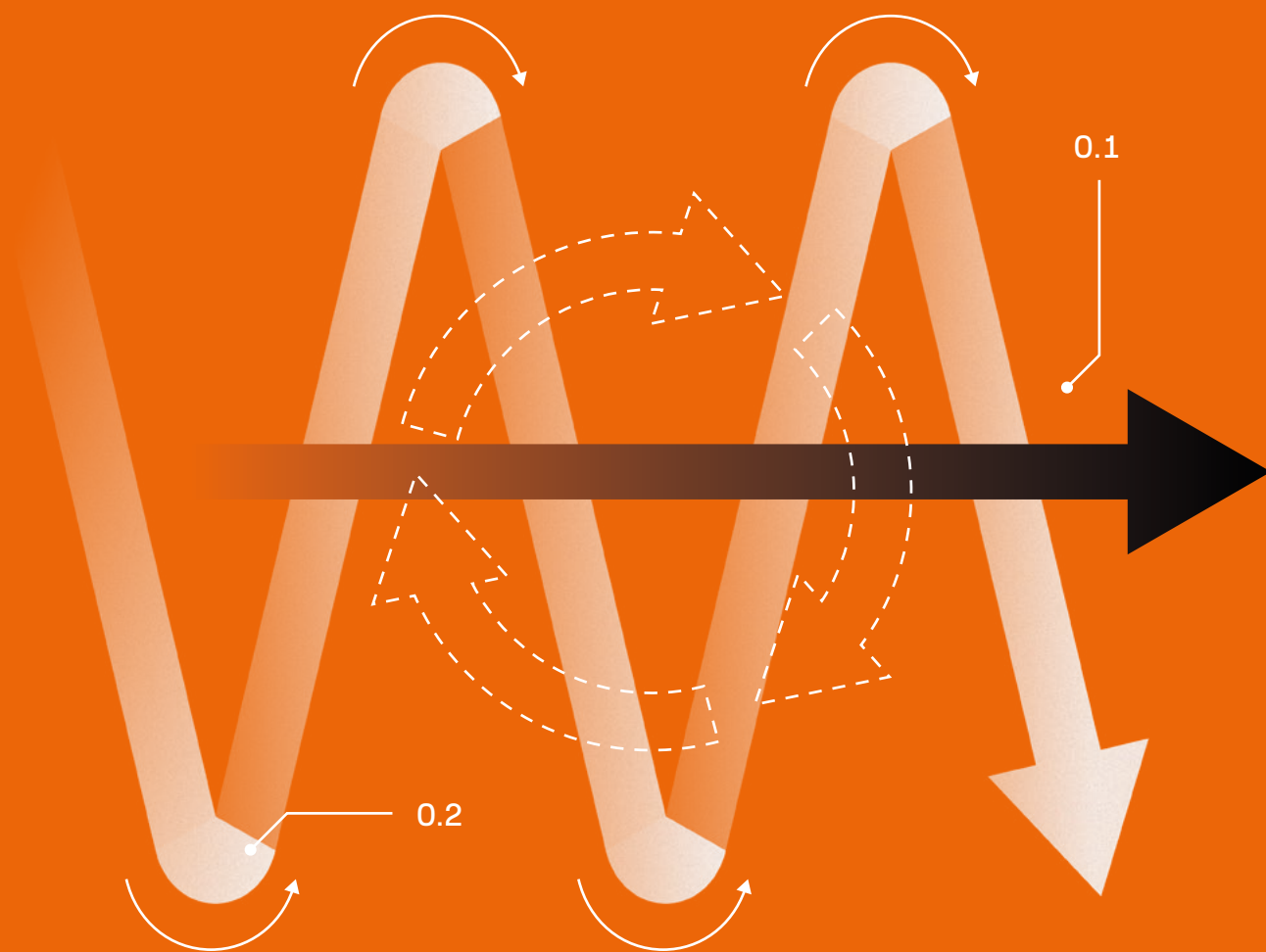


Source:
<https://english.deltaprogramma.nl>



Source: Gundula Winter and Marjolijn Haasnoot (2022), Putting Dynamic Adaptive Policy Pathways into Practice, Deltares

Le Delta Plan aux Pays Bas est un des plus grands programmes de défense contre la montée du niveau de la mer au monde. Une œuvre de plusieurs décennies, entamée après le désastre de 1953 et dont la première étape s'est achevée en 1986 et la seconde en 2010. Une menace a ainsi été transformée en opportunité par l'expérimentation et l'innovation. 2.400 entreprises néerlandaises travaillent dans l'hydraulique et l'adaptation au changement climatique. Les entreprises et universités néerlandaises sont championnes en aménagement des littoraux, fermes flottantes, digues respectueuses des écosystèmes, lutte contre l'érosion, etc. Ils en ont fait un produit d'exportation, avec p.ex. le Bangladesh qui fait appel à l'expertise néerlandaise pour réaliser son propre Delta Plan sur 100 ans.²²⁴



#6

Simplifier les **procédures**,
raccourcir les **chemins** et
faciliter les **transmissions**

Les complexités administrative et juridique sont devenues un vrai obstacle à la compétitivité économique, à l'agilité entrepreneuriale et à l'adhésion citoyenne. Le phénomène est généralisé à travers les pays.

Comment faire en sorte que la bureaucratie serve véritablement les transitions ? Comment concilier créativité, liberté, flexibilité, initiative et le besoin de réguler, standardiser et surveiller tout en allant vite en procédure ? Comment concilier précautions sociales et environnementales, performance économique et rapidité administrative ? Comment mettre en œuvre la logistique courte, le *near shoring* et le *green public procurement* sans alourdir la bureaucratie et enfreindre la libre circulation de biens et services au sein de l'UE ? Comment maintenir les compétences et outils de production en place par la facilitation de la transmission d'entreprises ? Quelles est la marge de manœuvre de chaque pays face aux complexifications règlementaire et administrative venant de la Commission européenne ? Le Luxembourg des chemins courts peut-il mieux réussir que les grands pays à faire des transitions une opportunité de simplification des procédures ?

Pour relever ces défis, l'exercice prospectif de scénarisation a révélé trois leviers d'action publique qui sont valables dans chacun des trois scénarios co-construits : simplifier les procédures, raccourcir les distances et faciliter les transmissions.

A. Simplifier les procédures

Pour l'État, il s'agirait de mieux coordonner les différentes politiques et stratégies sectorielles, de vérifier la cohérence de leurs objectifs ainsi que leur faisabilité biophysique cumulée, en veillant à respecter les limites matérielles et les besoins sociaux. Pour pouvoir répondre aux incertitudes et risques, l'État visera à rendre la **règlementation** et les procédures en vue des transitions flexibles et habilitantes, afin d'améliorer l'agilité et la prise de responsabilité des entreprises. La coordination et la simplification sont nécessaires à tous les niveaux et se concrétisent de différentes manières :

Un **cadre harmonisé** de suivi des stratégies sectorielles (au nombre de 53 actuellement²²⁵) et de l'impact des mesures d'incitations pour les réaliser pourrait être créé. Ce suivi peut s'appuyer sur des données nationales existantes (suivi de la décarbonation dans le cadre du PNEC, de l'artificialisation des sols dans le cadre du PDAT, de la compétitivité à travers l'ODC ou des indicateurs macro-économiques et du bien-être par le STATEC), tout en veillant à s'aligner aux cadres européen et international.

Pour être *future-proof*, les futures stratégies doivent mieux intégrer les conflits d'usages potentiels qui peuvent résulter de leur mise en œuvre simultanée. Ainsi, l'adaptation au changement climatique, la raréfaction des matières, le déclin de la biodiversité ou l'impact territorial doivent être pris en compte de manière combinée. Les **bilans énergie-matière-carbone** des stratégies sont un outil pour faciliter cette tâche. Par ailleurs, le PNEC prévoit que l'administration étatique sera neutre en carbone en 2040. Les communes uniformisent les **règlements des bâtisses** dans un sens de préservation du patrimoine et de priorisation de la rénovation de l'existant, de résilience des occupants (terrasses, locaux à vélo, *Spënchen* pour l'entreposage d'aliments, compost, gestion collective des chaudières et déchets, citernes eau de pluie, etc.) et d'économie d'espace, de matière et d'énergie (KBR19-23).

L'État se doit de faciliter l'échange, l'interconnexion et la réutilisation des données entre administrations en mettant en place des standards sémantiques et techniques communs. La solution communément choisie – et déjà en place dans un grand nombre de pays membres de l'UE – pour atteindre ce but est la mise en place d'une **plateforme centrale d'intermédiation pour les données** à laquelle se connectent de manière standardisée les fournisseurs de données (sources authentiques) et les consommateurs de données. Une telle plateforme ne stocke pas les données de manière centrale, mais les laisse juste transiter du fournisseur vers le consommateur de données.

225 Luxembourg Stratégie (2022), Tableau de suivi des stratégies sectorielles nationales. Ministère de l'Économie

#6 Simplifier les procédures, raccourcir les chemins et faciliter les transmissions

Les entreprises demandent un **one-stop-shop** pour leurs procédures administratives, un accès centralisé aux données, une automatisation des formulaires à remplir et une réduction du nombre de démarches administratives. La réutilisation des informations détenues par des organes du secteur public devrait être facilitée afin de favoriser la transparence, l'innovation fondée sur les données et des conditions de concurrence équitables.²²⁶ L'administration pourrait mettre en place le principe électronique du **once only** et viser à supprimer toutes les procédures administratives pas vraiment nécessaires et à simplifier au maximum celles qui restent. La combinaison de ces différents éléments devrait conduire à une réduction significative des procédures administratives qui seraient vraiment encore à réaliser par un utilisateur en ligne.

Les **procédures d'autorisation** pourraient être encore accélérées, digitalisées et automatisées ou le cas échéant, remplacées par des déclarations de conformité de la part des entreprises (PNEC). Les enquêtes publiques devraient être disponibles par voie électronique (**e-Commodo**). Les procédures administratives relatives à la mise en œuvre et la fabrication de technologies de décarbonisation doivent être accélérées. Les entreprises de toutes tailles et besoins seront impliquées dans la conception des produits nécessaires pour simplifier les procédures.

Pour raccourcir l'embauche de salariés hautement qualifiés et issus de pays tiers hors UE, une *blue card* biométrique serait introduite et la digitalisation des démarches administratives serait aboutie. Un cadre européen unique pourrait être créé en matière de détachement, avec des stages et les prêts temporaires de main-d'œuvre transfrontalière à la clé.

La digitalisation est un outil central pour achever ce but. Elle doit être implémentée de manière centrée sur l'utilisateur. Nombreux sont les commentaires d'usagers désabusés devant des formulaires désuets non-remplissables ou ineptes, trop vite actualisés et remplacés. Citoyens et entrepreneurs se plaignent de services publics déshumanisés, d'une perte de contact et de connaissances, d'une incapacité à résoudre simplement des difficultés. Les usagers perdent contrôle et s'épuisent face aux centres d'appels automatisés, files d'attente virtuelles, contrats tacitement renouvelés, renouvellement tout azimut des *app*, *token* ou mots de passe, sous-traitance des services des prestataires vers les clients. Fidèle au principe de la Vision, l'exclusivité ne peut pas être de mise. Le virtuel a ses avantages, mais les services devraient rester simples, pratiques et à distance humaine : agences et bureaux publics à proximité et décentralisés (ville de 15 minutes), valorisation des services et de l'intermédiation, produits et formats pour personnes âgées et à handicap.

Une avalanche de systèmes et critères de *monitoring* et de *reporting* est devant les entreprises en matière de *reporting* extra-financier concernant leurs performances sur des critères d'environnement, d'inclusion ou de gouvernance, et bientôt aussi de biodiversité ([Brique 7](#) et [Brique 9](#)). Ces dispositions, concrétisées par l'adoption récente de la directive CSR – **corporate sustainability reporting** sont cependant aussi de nature à accélérer la réforme des marchés publics pour en faire un levier des transitions devant nous ([Brique 2](#)).

Les entreprises pourraient recevoir un appui pour pouvoir répondre aux nouvelles exigences standardisées à travers l'UE et pour établir le bilan physique de leurs émissions de GES. En défendant le **marché unique et l'harmonisation** des lois, règles et aides entre géographies, le Luxembourg pourra profiter des allègements de procédures pour les industries et services stratégiques prévus dans le NZIA.

²²⁶ Mar Negreiro et Tambiama Madiaga (2019), *La transformation numérique*, EPRS, PE 633.171

B. Raccourcir les chemins

Sur base de l'hypothèse d'une augmentation probable des prix de l'énergie, du carbone ou des matières, les prix de la mondialisation et des importations augmenteraient.²²⁷ Tout miser sur un transport électrifié longue distance aussi bon marché et abondant que ne l'était le transport fossile par camions, bateaux ou avions n'est pas *future proof*. A long terme, les mouvements internationaux risquent de devenir moindres et plus chers. Le transport des biens stratégiques et de haute valeur serait alors à privilégier face aux produits de masse, lourds ou jetables. Il est prévoyant de raccourcir les distances physiques là où cela fait sens et de produire plus proche de chez soi. Les opportunités pour réduire ces quantités ou distances se situent au niveau de la recherche d'une meilleure autonomie matérielle, de l'efficacité, de la circularité et de la sobriété (p.ex. réduire les déplacements contraints) (Brique 1 et Brique 2), ainsi qu'au niveau du raccourcissement des chaînes d'approvisionnement et du transfert modal. Le *nearshoring* devrait permettre d'économiser des émissions liées au transport international. Les incidences territoriales potentielles de l'évolution de l'économie vers plus de résilience, inclusivité et compétitivité sont décrites à l'Annexe 7. Une cartographie prospective extrapolant l'évolution possible de la localisation des activités économiques dans l'espace est proposée en fin de publication.

En complément au marché européen et extra-communautaire, il y a lieu d'étudier le véritable potentiel de rapprochement de certaines chaînes de valeur des frontières nationales²²⁸ et de production et consommation dans un marché grand-régional. Bien que les projections démographiques prévoient d'ici à 2050 un vieillissement généralisé et un ralentissement de la croissance de sa population, la Grande Région représente tout de même aujourd'hui un marché de 12 millions de résidents, avec une part croissante de pensions versées par le Luxembourg aux pays de résidence de travailleurs frontaliers pensionnés.²²⁹

Mieux exploiter les potentiels productifs à l'échelle **locale, communale ou grande-régionale** contribuerait à la résilience territoriale visée par le PDAT. En effet l'exécution et la montée en puissance d'activités économiques peut être plus facile et rentable en agrégeant des volumes nationaux et en structurant l'offre et la demande selon les véritables zones de chalandise et bassins de vie, peu importe les frontières administratives. Agrandir le périmètre de production-consommation permet de créer de la masse critique. Il s'agit d'analyser au cas par cas quelles activités sont plus efficacement effectuées à quel échelon territorial, puis d'accompagner les acteurs économiques de proximité, **coopératives citoyennes, communes et syndicats intercommunaux, régions et provinces limitrophes** pour leur permettre de faire face aux conséquences et de saisir les opportunités des transitions.

Des exemples de **subsidiarité, décentralisation et mutualisation territoriales**, qui représentent en même temps des opportunités d'affaires à saisir, abondent :

Face à la demande citoyenne pour plus de commerces et de services de proximité et des centres commerciaux de taille réduite dans une zone urbaine accessible par les transports en commun et la mobilité douce²³⁰, on peut imaginer une **relocalisation d'activités commerciales** en centres-villes.

On peut imaginer aussi des ménages installer des citernes domiciliaires de collecte d'eau de pluie, des communes se doter de micro-stations de génération ou de stockage électriques ou de réseaux de chaleur. L'adaptation des écosystèmes au changement climatique et l'assistance à la migration des cultures et forêts vers le Nord dépasse les frontières administratives et se fait en fonction des conditions agro-climatiques, des bassins versants d'eau ou des formations forestières régionales.

227 "We have reached peak globalisation" selon François Heischbourg, Journée de l'économie, Chambre de Commerce, Luxembourg, 17.04.23

228 Interreg Europe (2023), *Reshoring and nearshoring for stronger European Value Chains*

229 Statistiques Grande Région, *Projection de la population totale 2021-2050*

230 Sondage ILRES : les réponses des résidents confirment les objectifs du PDAT2023, à savoir 8 répondants sur 10 sont en faveur d'une limitation de la consommation du sol. Voir ILRES (2023), *Qualité de vie et développement urbain futur et Imperméabilisation et artificialisation du sol*, 7.2.2023

#6 Simplifier les procédures, raccourcir les chemins et faciliter les transmissions

Les initiatives de **communautés décentralisées** d'énergie sont aussi inspirantes. Une communauté énergétique prévoit le partage de l'électricité produite sur le territoire entre membres. L'autoconsommation solaire ou éolienne sur site ou multi-sites en autoconsommation collective permet une plus grande autonomie et évite de perdre les surplus générés en fonction de la météo, en égalisant entre producteurs excédentaires et déficitaires et en stockant le surplus. La gestion intelligente se ferait localement et en temps réel grâce à une plateforme informatique et au *machine learning*.²³¹

L'implantation industrielle, la prospection géologique des sous-sols, le développement de filières de réparation-recyclage, l'entreposage de déchets inertes, la génération d'énergie renouvelable (PNEC), et les activités d'assainissement des sols contaminés sur d'anciens sites industriels peuvent être plus efficaces et rentables pour un marché plus grand cumulant des volumes et partageant les coûts. Les véritables périmètres d'approvisionnement et de distribution se définiraient alors en fonction des viviers de salariés ou *pools* de matières premières et secondaires.

L'économie appuiera les efforts de l'**agriculture**, du **maraîchage**, de l'**arboriculture** et de la **sylviculture** pour orienter et diversifier la production vers les besoins nationaux²³² et présents en développant les filières agro-alimentaires, sylvicoles ou agro-mécaniques grandes-régionales. Les opportunités pour le **tourisme local** résultant d'un recul des vols longues distances, pour les activités de séquestration naturelle de carbone ou celles liées à l'expansion géographique de la **viticulture** sont aussi à anticiper.

Faire face ensemble à la pénurie de main-d'œuvre et aux difficultés de recrutement est certainement une priorité partagée en **Grande Région**. Il importe de coordonner les actions en vue d'une meilleure adéquation entre offre et demande d'emplois en Grande Région. Pour circonscrire le risque de concurrence entre territoires, la Fondation IDEA propose la création d'agences transfrontalières de développement économique, d'un modèle d'entreprises transfrontalières, la participation dans des sociétés industrielles, artisanales ou commerciales de l'autre côté de la frontière, les formations « co-diplômantes » de compétences critiques ou non-existantes à l'échelle nationale, la reconnaissance mutuelle des qualifications, la mobilité transfrontalière des apprentis.²³³

Pour stimuler cela, les **marchés publics nationaux seraient verdis et localisés** (KBR) : des critères écologiques (empreintes environnementale et carbone), sociaux (droits de l'homme, transparence) et géographiques (périmètre d'approvisionnement et de livraison) ou esthétique (qualité de l'architecture) harmonisés seraient développés. La circularité et l'innovation (Brique 1 et Brique 2) seraient intégrées dans les marchés publics, en commençant par les acquisitions de l'État. Afin de prendre en compte les caractéristiques de résilience, le prix ne devrait plus être le critère unique de choix d'une offre et des critères qualitatifs d'attribution devraient être appliqués.²³⁴

Un accompagnement des soumissionnaires et des pouvoirs adjudicateurs supposerait p.ex. dans un premier temps la préparation d'un **guide des marchés publics verts**, permettant de recenser les moyens de verdir un marché au stade de chaque étape d'un marché public grâce aux outils actuellement permis par la Loi sur les marchés publics, et le cas échéant de nouveaux outils. Il conviendrait ainsi de rappeler notamment les possibilités offertes en matière de dialogue et d'analyse pré-procédure, la définition d'un cahier des charges vert (critères verts dans la définition du

²³¹ Voir p.ex. Energiepark Réiden SA

²³² MAVDR (2021), Assurer un développement durable du secteur agricole, Plan stratégique national du Grand-Duché de Luxembourg pour la politique agricole commune (PAC) 2023-2027

²³³ CES (2022), Pour un développement cohérent de la métropole transfrontalière du Luxembourg dans la Grande Région, Avis. Fondation IDEA (2023), Une vision territoriale pour le Luxembourg à long terme. Chambre de commerce (2023), Vers un modèle de développement transfrontalier

²³⁴ Tel est le cas, p.ex. en France, en application de la loi Climat et Résilience, cité dans le Programme OAI pour les élections législatives 2023, p. 6/16.

besoin, dans les clauses et critères de sélection, d'attribution, etc.), le choix d'entreprises vertes ou incluant des critères verts (variantes, bonifications, etc.), un contrôle de l'application de ces critères, le choix d'entreprises vertes ou l'encouragement à la labélisation verte, etc. L'encouragement aux innovations vertes passerait aussi par des formations, échanges de bonnes pratiques et retours d'expérience. Le tout aboutirait à une **standardisation des clauses servant** de base aux pouvoirs adjudicateurs et pouvant être diffusées et utilisées en toute sécurité par ces derniers.

Les leçons apprises de la pandémie nous amènent à revoir non seulement les procédures des marchés publics mais aussi la gestion des stocks des produits essentiels. Le but serait d'atteindre une meilleure sécurité d'approvisionnement à qualité et à prix d'achat et d'entreposage maîtrisés. Il s'agit d'anticiper et de cumuler certains achats, de veiller à la distance et aux délais de livraison et de renouvellement, dans un souci général de faibles impacts écologiques. Une **centrale publique d'achats stratégiques**, pour les secteurs hospitaliers, énergétiques, informatiques, etc. serait un atout face aux nouvelles crises et en vue de garantir de meilleurs coûts et délais. Le marché national étant de taille limitée, elle pourrait fonctionner au niveau grand-régional et inclure des critères d'impact carbone et d'origine locale afin de favoriser le positionnement des entreprises présentes sur le territoire.

Des mesures pour réduire la mobilité contrainte concerne la mise en place de régimes long-termes de **télétravail** pour les résidents et travailleurs transfrontaliers et emplois qui s'y prêtent, télétravail hybride avec *shared spaces* satellites, la **ville de 15 minutes**, mixant commerces, ateliers, services, récréation et logement ou la **livraison groupée** combinée au **e-commerce**. Grouper les livraisons (y compris par drones) ou disposer des services de base à distance de marche sont aussi des mesures préventives face à la résurgence de pandémies ou au renchérissement des transports. Selon le *think tank* The Shift Project, « Différentes expériences montrent qu'une bonne gestion de la distribution en e-commerce permet des gains importants en termes de déplacements dès lors que la distribution d'un grand nombre d'achats est groupée sur un périmètre de proximité géographique. Pour les courses de base, les trajets individuels vers les grandes surfaces peuvent être remplacés par des tournées groupées sur base de commandes électroniques préalables ».

En alignement au Plan national de mobilité 2035, la transition des modes de transport des personnes intenses en ressources vers des modes bas-carbone, collectif, léger et doux (KBR, Observatoire scientifique de la politique climatique (OPC), PDAT) pourrait être étendue au **transport routier, ferroviaire et fluvial du fret** et à la **logistique** interurbaine. On peut imaginer un 2^{ème} système de logistique-entrepôt-consigne court, aux distances et intermédiaires réduits, qui livre des produits régionaux et de base (alimentation, pièces de rechange, bois de chauffe, location d'outils, etc.) en vente directe ou troc aux clients de l'espace fonctionnel grand-régional. La Grande Région et ses hubs logistiques peuvent servir de test pour les *reverse logistics*.

La **logistique inverse** demande plus de temps et d'espace et que les logistiques linéaires, mais est une filière porteuse face à la raréfaction matérielle et aux besoins de circularité, par laquelle les entreprises peuvent se différencier des concurrents. Une approche stratégique de la logistique inverse demande des infrastructures physiques et digitales structurantes, une organisation en zone de chalandise avec un réseau de revendeurs proches des manufactures et un centre de service pour clients, un appui *big data* et *predictive analytics*, des compétences techniques et une réglementation favorable aux garanties et au réemploi ([Brique 2](#)).

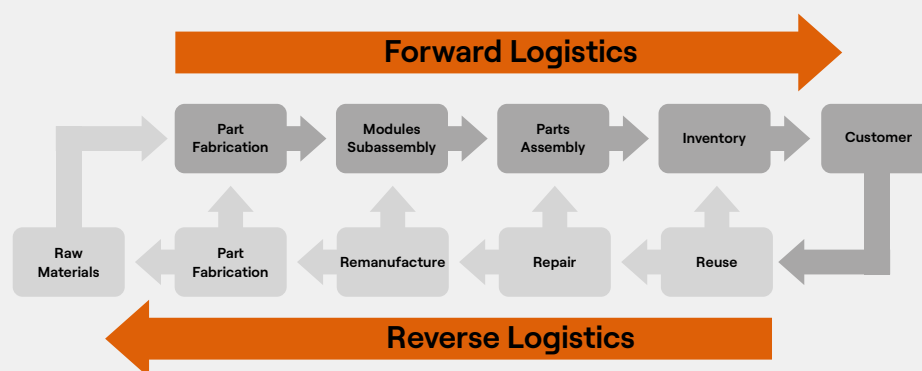
#6 Simplifier les procédures, raccourcir les chemins et faciliter les transmissions

EXEMPLE : LOGISTIQUE INVERSE

La logistique inverse fait référence au processus de la chaîne d'approvisionnement consistant à **renvoyer** les produits des utilisateurs finaux via la chaîne d'approvisionnement au détaillant ou au fabricant, pour réemploi, réparation, décomposition et réutilisation comme matière première ou pièces.



Source: Tavant



Source: Ihar Baranau et Andrej Lisec (2020), Reverse Logistics in Agriculture

La valorisation des ressources régionales passe aussi par l'artisanat et la constitution de futures « chaînes de valeur stratégiques résilientes », implantant les processus de conception, fabrication, exploitation et d'entretien et de réparation dans la Grande Région. Cela offre des opportunités nouvelles à des branches artisanales par le biais de coopérations nouvelles, notamment en matière de chaînes de valeur circulaires locales, via des concepts de restitution de composants ou matériaux à l'économie qui en a besoin.²³⁵

Des infrastructures de connexions du Luxembourg aux pays voisins sont aussi nécessaires. En Grande Région, des zonings partagés d'activités ou une **industrie du vélo réparable** pourraient naître. Pendant la période 2012 – 2021, le Luxembourg a importé en moyenne entre 25 et 30.000 vélos par an. La valeur du marché était de 21 millions EUR pour la période 2017 – 2021.²³⁶ Le Luxembourg pourrait contribuer à étendre le réseau des transports publics express et des pistes cyclables, et renforcer la collaboration pour la mise en place d'infrastructures et d'offres de transports en commun bas-carbone au-delà des frontières vers les bassins d'emplois. En se faisant l'avocat d'une bonne connexion de la Grande Région aux grands corridors de transport européen décarboné (rail, fleuve, trains de nuits), l'économie luxembourgeoise se verrait pourvue d'un second pilier d'approvisionnement logistique.

²³⁵ Chambre des Métiers (2023), Prise de position (suite à l'échange entre « Luxembourg Stratégie » et les membres de la Commission du Centre de Promotion et de Recherche pour l'Artisanat auprès de la Chambre des Métiers du 27 avril 2023). 10.07.23

²³⁶ STATEC (2022), Un portrait chiffré des entreprises au Luxembourg

C. Faciliter les transmissions

Afin de ne pas perdre le capital de savoir et savoir-faire entre générations, il s'agit de faciliter les transmissions et maintenir le tissu d'entrepreneuriat national, et ce notamment pour les PME et entreprises familiales artisanales, moteur d'innovation, de décarbonation, de circularité et pourvoyeurs d'emplois. Un système de patronage inter-générationnel pour faciliter la transmission d'entreprises et de savoirs entre générations est à instaurer.

Il s'agirait de mettre à disposition des capitaux pour assurer la transmission, en interne par des collaborateurs ou en externe, via un instrument de participation aux bénéfices, de participation au capital ou de garanties données aux PME.

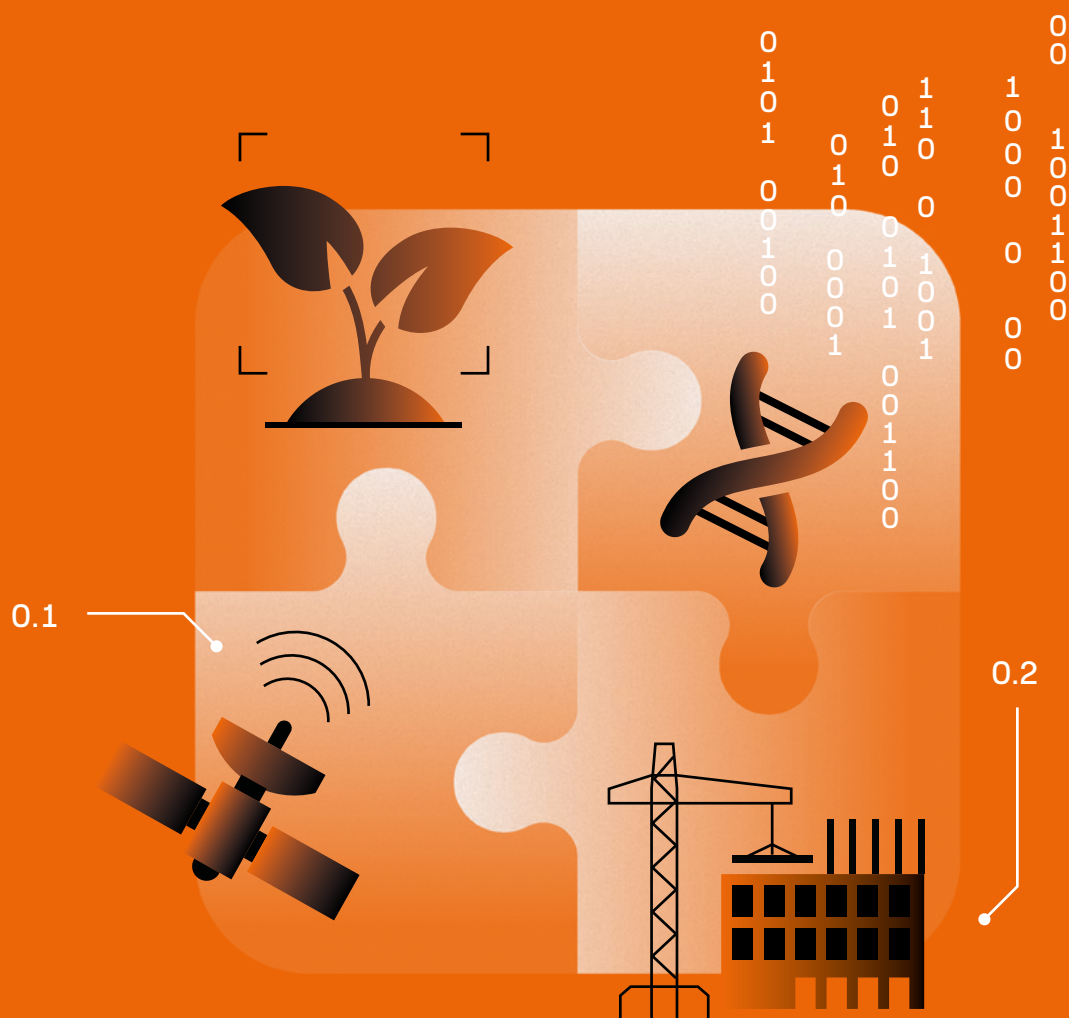
Considérant le développement démographique²³⁷ au niveau des chefs d'entreprises, la transmission des entreprises à la future génération constitue un des défis centraux du secteur, non seulement pour l'activité entrepreneuriale, mais également les salariés concernés. Les procédures de transmissions et de reprise d'entreprises doivent, de manière générale, présenter une **souplesse et rapidité** pour assurer un grand nombre de reprises et de transmissions d'entreprises dans les années à venir. La CDM appelle aussi à créer une bibliothèque artisanale (physique et virtuelle) qui reprend le meilleur de l'artisanat pour assurer une transmission sans perte de savoirs et de savoir-faire au profit des générations futures et de la société.

La prise de participation de citoyens, propriétaires forestiers, syndicats ou communes dans des investissements tels que *Holzhaft*, parcs éoliens, ateliers de réparation, serres ou fermes péri-urbaines devra être facilitée.

La propriété familiale est la forme de propriété d'entreprise la plus répandue dans le monde. « La littérature en finance d'entreprise révèle que la volonté de léguer une affaire pérenne à ses enfants fait grandir un souci du long terme au sein des entreprises familiales. Les groupes familiaux ont également tendance à accorder plus d'importance aux enjeux non financiers. Les entreprises familiales multigénérationnelles ont des émissions plus basses que les grandes entreprises multinationales aux PDG recrutés. »²³⁸

237 En 2022, près de 1.300 chefs d'entreprises ont passé le cap des 60 ans et sont dès lors susceptibles d'entamer la recherche d'un successeur pour préparer l'entreprise et les salariés concernés à une transmission/reprise de l'entreprise. À plus long terme, ce sont même 46% des chefs d'entreprises qui ont atteint l'âge de 50 ans ou plus, qui seront susceptibles d'être confrontés à la question de la transmission d'entreprise. En 2022, ces entreprises occupent 48% de l'ensemble des salariés. Chambre des Métiers (2023), *Prise de position (suite à l'échange entre « Luxembourg Stratégie » et les membres de la Commission du Centre de Promotion et de Recherche pour l'Artisanat auprès de la Chambre des Métiers du 27 avril 2023)*. 10.07.23

238 « Lorsque les différences entre les entreprises sont prises en compte, les entreprises familiales émettent encore 12,8 t CO₂ par million de dollars de revenus de moins que les entreprises non familiales. » Voir The Conversation (2023), *Les entreprises familiales, discrètement plus vertes*



#7

Diversifier l'économie
en l'adaptant aux enjeux
du futur

« Il importera aussi de faire des choix. Tout d'abord, des choix quant aux secteurs sur lesquels on mettra à l'avenir pour décarboner notre économie : j'ai récemment annoncé l'initiative d'une « *Green Valley* », un projet d'infrastructures pour regrouper et développer nos entreprises dans le domaine des « éco-technologies » au sens large, c'est-à-dire de tout ce qui relève des énergies renouvelables, de l'adaptation climatique, de la construction circulaire et de la décarbonation. Bien évidemment, toutes les entreprises ont ici un rôle à jouer, qu'il s'agisse d'industriels, d'artisans ou de start-ups. D'autres secteurs de diversification choisis par le Luxembourg se développent de manière dynamique, qu'il s'agisse des technologies de la santé, de l'espace ou encore du numérique. »

Ministre de l'Économie Franz Fayot, Carte blanche, Paperjam (22 mai 2023)

Le Luxembourg a déjà connu plusieurs révolutions industrielles. Au siècle passé, bien que dépourvu de la houille et avec peu de gisements de fer, le pays a vu son économie agraire se transformer en l'une des premières nations sidérurgiques du monde. À partir des années 70, l'économie a entamé sa tertiarisation et est devenue une place financière internationale.

Aujourd'hui, le **projet d'avenir** consiste à transformer l'économie à nouveau, en visant à répondre aux nouveaux enjeux de résilience qui sont diversification, compatibilité avec les limites biophysiques et contribution aux services publics de base.

En effet, le Luxembourg est passé d'une structure économique monolithique (sidérurgie) à une autre (finance). La spécialisation en sidérurgie a été suivie d'une diversification industrielle puis de l'essor continu des activités financières. Les activités financières développées à partir des années 1970 dominent aujourd'hui l'économie. Au cours des dernières décennies, les gouvernements successifs se sont efforcés à développer un nombre restreint d'autres secteurs économiques en vue de réduire la dépendance prononcée du pays envers le secteur financier. Une économie est dite diversifiée si sa structure productive est dispersée en un grand nombre d'activités différentes les unes des autres par la nature des biens et services produits.²³⁹

Étant donné qu'une économie gourmande en bras et ressources (croissance extensive) n'est pas durable au Luxembourg, les priorités de la stratégie de diversification économique poursuivies depuis le début du nouveau millénaire visent une évolution plus sobre en ressources et plus intense en innovation (croissance intensive) :²⁴⁰

1. Les technologies environnementales (*eco-tech* ou *clean tech*)
2. Les technologies de l'information et de la communication (TIC ou *digital tech*)
3. Les technologies et applications de l'espace (*space tech*)
4. La logistique et la gestion des chaînes d'approvisionnement (y compris secteur maritime)
5. Les sciences et technologies de la santé (*health tech*)

Pour les écotechnologies, le ministère de l'Économie avait lancé un premier plan d'action en 2009.²⁴¹ Dans le plan gouvernemental 2014-2018, trois niches ont été retenues pour les écotechnologies : l'écoconstruction (construction durable), la mobilité durable et l'économie circulaire.

La transformation de l'**industrie manufacturière** (industrie 4.0) et l'intensification du recours à la **numérisation** et aux savoirs (KIS – **Knowledge-Intensive Services**) sont transversales et moteurs pour cette politique de diversification qui vise à soutenir activement le « *greening* » général de la structure économique du Luxembourg. Pour cela, la digitalisation devrait aussi réussir à découpler son rythme d'expansion de celui de sa consommation de ressources (**Brique 4**).

239 Jean-Claude Berthélemy (2005), *Commerce international et diversification économique*, Revue d'économie politique 2005/5 (Vol. 115), p. 591-611, Éditions Dalloz

240 L'Observatoire de la compétitivité a analysé la performance des 5 secteurs de diversification en 2018. Voir aussi Max Jentgen (2017, actualisé en 2023), Le degré de diversification est faible en comparaison internationale, varie peu et connaît une quasi-stagnation sur 1995-2021, Mémoire, ministère de l'Économie.

241 *Programme National de Réforme* (PNR) 2022, voir p. 37

#7 Diversifier l'économie en l'adaptant aux enjeux du futur

Des clusters et programmes de soutien en vue de la génération de nouveaux processus, produits et services ont été mis en place par Luxinnovation pour chacun de ces cinq secteurs. Luxinnovation et les Chambres professionnelles accompagnent les entreprises et *start-ups* dans leur recherche d'expertise, de formation, d'aides financières, d'investissements, de réseaux ou de marchés. Luxinnovation propose des cartographies et des tableaux de bord évolutifs des principaux domaines de diversification.²⁴²

A horizon 2050, il s'agirait de renforcer cette orientation, de capitaliser sur ces priorités et de les **spécialiser** résolument en direction de la décarbonation et de la résilience. Les entreprises, petites, moyennes et grandes, pourraient développer une expertise de pointe en solutions climatiques *grises et vertes*, permettant à l'économie de rétablir sa compétitivité à travers les **industries et services carbone**.

L'évolution de la structure de l'économie au cours des 30 dernières années, en termes de part de valeur ajoutée brute (en %), est marquée par un recul récent des activités financières et d'assurance depuis 2015, une affirmation des activités scientifiques et techniques, liées à la santé humaine et l'action sociale et au transport et à l'entreposage, une quasi-stagnation des activités liées à l'information et la communication et une baisse continue de la part de l'industrie manufacturière (fer et acier, énergie et eau, autres), en proportion par rapport aux autres branches. L'agriculture, la sylviculture et la pêche se sont écroulées. Les services restent le secteur dominant avec 85% de la valeur ajoutée brute générée (2022).²⁴³

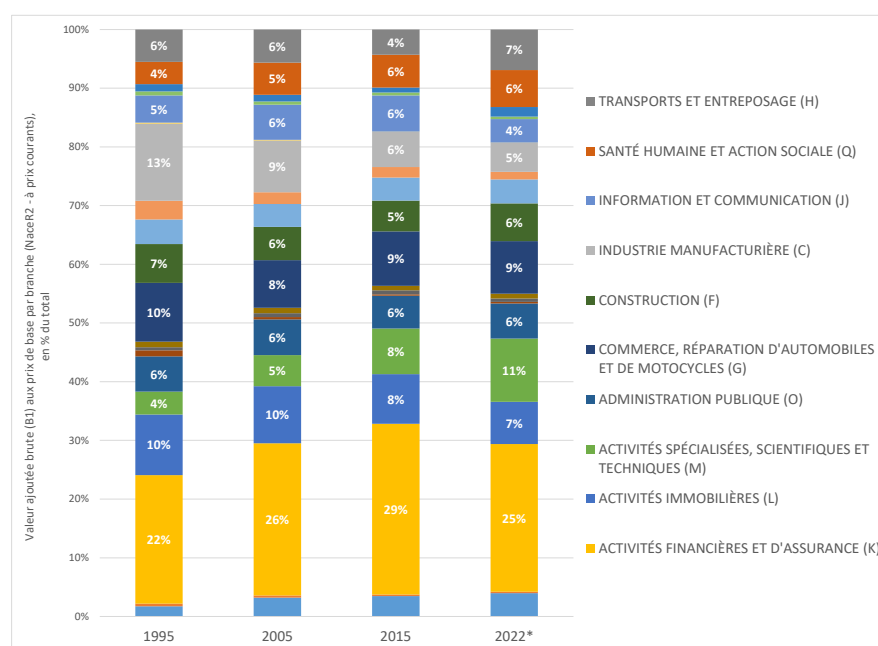


Figure 16. Evolution de la structure de l'économie 1995-2022 (*estimation)²⁴⁴

Le défi de la politique de diversification consiste à trouver le bon équilibre entre dilution des risques et exploitation de rendements d'échelle.²⁴⁵ Face aux transitions à mener dans un contexte de contraintes biophysiques, tensions socio-économiques et d'incertitudes, la notion de risque

²⁴² Luxinnovation, Mapping Cybersecurity Ecosystem, Mapping of Sustainability Enablers, Mapping: Luxembourg Manufacturing Ecosystem, Mapping: Luxembourg AutoMobility Ecosystem, Key figures about the HealthTech private sector in Luxembourg (2020), Mapping: Luxembourg Wood Sector, et Key figures about the Creative Industries sector in Luxembourg (2020)

²⁴³ Voir aussi Chambre de commerce (2019), *Économie du Luxembourg. Ouverte, Dynamique, Fiable*

²⁴⁴ STATEC (données téléchargées en juillet 2023)

²⁴⁵ Luisito Bertinelli (Uni.lu) et Eric Strobl (École polytechnique) (2007), An analysis of the sectoral diversification of a small open economy: the case of Luxembourg. Ministère de l'Économie et du Commerce extérieur (2007), *Perspectives de politique économique*

prend une autre dimension et, avec Mariana Mazzucato, la question se pose de savoir si le rôle de l'État devient à long terme plus prégnant dans la diminution des risques et la création de valeur économique et sociale.²⁴⁶ En application des principes de précaution, d'autonomie, de redondance et d'adaptation aux crises environnementales, la diversification économique et le renforcement des secteurs manufacturiers (Brique 1) seraient des approches *future-proof* à intensifier dans le cadre de la Vision.

L'économie a donc un **rôle à jouer quand il s'agit de fournir des biens communs essentiels** attendus par la population et de contribuer à l'amélioration de l'inclusivité et du bien-être de tous.²⁴⁷ Dans le cadre du processus prospectif ECO2050 d'élaboration collaborative de scénarios et de la présente Vision ECO2050, plusieurs services publics universels²⁴⁸ et activités non-marchandes²⁴⁹ ont été considérés particulièrement importants pour assurer un avenir sûr, prospère, juste et inclusif à la population. L'économie supporte l'infrastructure essentielle du pays et les besoins de base des personnes et participe à la protection sociale des populations face aux nouvelles incertitudes. Il s'agit de la santé publique à coûts abordables pour tous, de l'éducation et de la formation aux compétences nécessaires aux transitions, de l'accès à l'information et du *empowerment* des acteurs économiques et citoyens, de l'équité de genre, des transports en commun, des loisirs, de la culture, et de la sécurité.

Pour ce dernier point, la protection de l'intégrité physique des populations et des actifs face aux dérives climatiques et perturbations écosystémiques s'avère gagner en importance. Les demandes pour des biens et services climatiques se retrouvent aussi dans les travaux du KBR et l'ODC relatifs au PNEC : adaptation des villes aux chaleurs, création de capacité de rétention des excès d'eau, rapprochement des producteurs et consommateurs et ville de 15 minutes, régénération des forêts et zones humides, génération et stockage d'énergie, etc. Un des principes du PDAT vise à préparer la résilience du territoire en le dotant de capacités d'anticipation, de réaction et d'adaptation face aux perturbations, qu'elles soient d'origines climatique, sanitaire ou géopolitique. Les incidences territoriales potentielles de cette diversification sont décrites à l'Annexe 7. Une cartographie prospective extrapolant l'évolution possible de la localisation des activités économiques dans l'espace est proposée en toute fin de publication.

Pour l'économie, il s'agirait de **saisir les opportunités** d'affaires que représentent ces nouveaux besoins et attentes publics, par la fourniture de biens et services *climate-proof*. Pour pouvoir croître, la production et l'exportation de biens et services doivent réduire leurs impacts environnementaux. À cet effet, les entreprises vont être amenées à investir les transitions par le biais matériel (produits) et immatériel (services). À horizon 2050, des **niches d'excellence** pourraient être développées dans les domaines des services *KIS* au sein des axes de diversification économique engagés, dans les spécialisations futures suivantes :

- A. Se spécialiser en *industrie et services carbone*, opportunité d'affaires et création de bien commun**
- B. Adapter l'alimentation, opportunité d'affaires et création de bien commun**
- C. Adapter la santé, opportunité d'affaires et création de bien commun**

246 "Governments should be able to explore, experiment and take risks for the public good." Voir Mariana Mazzucato (2018), *The Value of Everything: Making and Taking in the Global Economy*

247 Christopher Olk et al. (2023), *How universal public services can end the cost-of-living crisis. Government provision of basic human needs, like healthcare and housing, can fight price shocks and save the planet*, Newstateman

248 « Un ensemble d'exigences d'intérêt général dont l'objectif est de veiller à ce que certains services soient mis à la disposition de tous les consommateurs et utilisateurs sur la totalité du territoire d'un État membre, indépendamment de leur position géographique, au niveau de qualité spécifié et, compte tenu de circonstances nationales particulières, à un prix abordable » Voir Commission européenne (2003), *Livre vert*

249 « [L]es activités non-marchandes (santé, éducation, sécurité, etc.) [...] devraient continuer à gagner en importance. » Voir Fondation IDEA (2023), *Grands Défis*, p.33

#7 Diversifier l'économie en l'adaptant aux enjeux du futur

A. Se spécialiser en industries et services carbones, opportunité d'affaires et création de bien commun

Les investissements en atténuation et adaptation climatiques vont se démultiplier à l'avenir ce qui représente des opportunités historiques pour diversifier l'économie. Désormais, « l'UE s'est engagée à consacrer au moins 30% de son budget 2021-2027 à l'action climatique, soit 87 milliards d'euros par an. Ce montant représente moins de 10% du total des investissements qui sont nécessaires pour atteindre les objectifs de 2030 et qui ont été estimés à environ 1.000 milliards d'euros par an. Le reste des investissements devrait provenir de fonds nationaux et privés. »²⁵⁰ Par ailleurs, l'accélération des procédures administratives relatives à la mise en œuvre et fabrication de technologies de décarbonation est en cours.²⁵¹

L'industrie et l'artisanat du futur seront donc décarbonés dans leurs processus, technologies et produits. **La production industrielle, manufacturière et artisanale** bas-carbone et sobre en ressources est un pilier clé de toute économie future et va gagner en importance (Brique 1 et Brique 2). En 2021, le cabinet Roland Berger a évalué que le marché global de l'écologisation de l'industrie atteindra près de 10.000 milliards d'euros en 2030 :

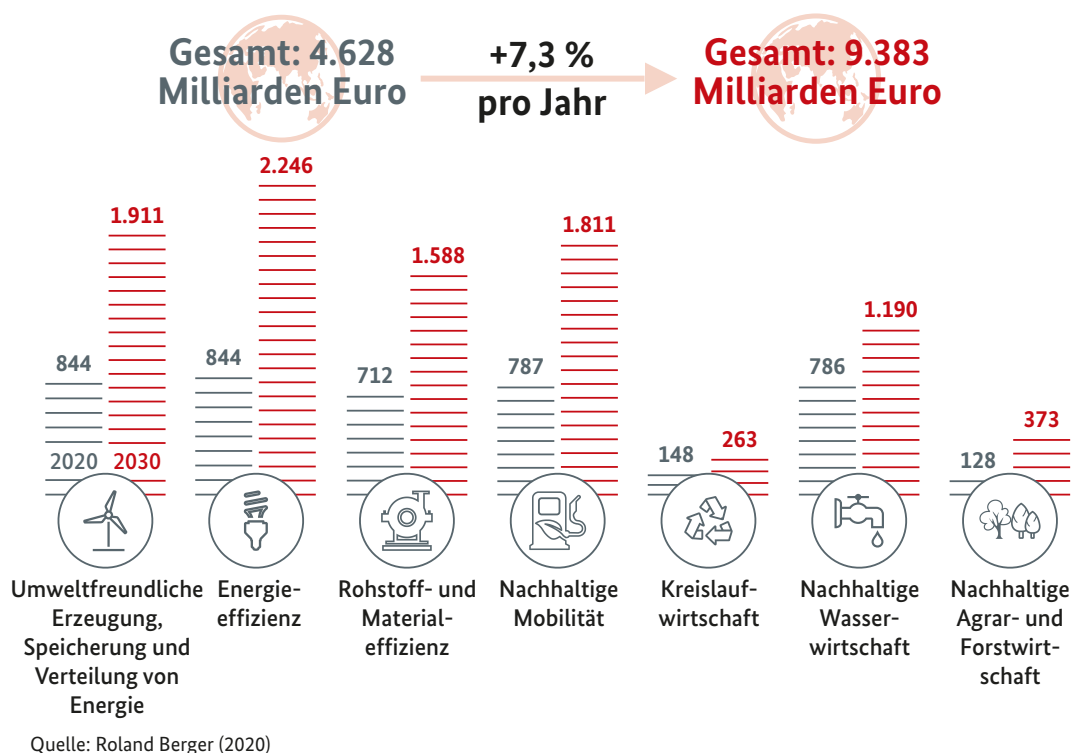


Figure 17. Stand des globalen Marktvolumens für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz 2020 und geschätzte Entwicklung bis 2030 in Milliarden Euro²⁵²

L'industrie du Luxembourg pourrait saisir la décarbonation et le règlement européen NZIA comme opportunités de **réindustrialisation**. Elle pourrait ainsi devenir pourvoyeuse de composants, équipements et services d'atténuation et d'adaptation climatiques. Côté atténuation, l'accent

²⁵⁰ Cour des Comptes Européenne (2023), *Climat et énergie: les objectifs de l'UE pour 2030 ont du plomb dans l'aile*, rapport spécial

²⁵¹ Dossier ENVIR 074b/2023 (2023), Avant-projet de loi relative à l'accélération de procédures administratives relatives à la mise en œuvre et la fabrication de technologies de décarbonation, à des projets de construction ou de rénovation de logements et à des projets de tramways et de voies ferroviaires.

²⁵² BMUV (2021), *Umwelttechnologie-Atlas für Deutschland*, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit & Verbraucherschutz, Deutschlands Neue Agenda (2021), Zum Stand der Transformation in eine klimaneutrale und digitale Zukunft. & Roland Berger (2021), *GreenTech-Branche bleibt auf Wachstumskurs*

pourrait être mis sur les produits et services qui permettent de réduire les émissions. Côté adaptation, il s'agit de fournir les matières, produits et services permettant de construire des sociétés et économies aptes à faire face aux conditions météorologiques plus extrêmes.

Le contexte est en effet favorable : le programme d'action pour la *décennie numérique 2030* de l'UE promeut « l'utilisation des technologies digitales pour lutter contre le changement climatique et les problèmes environnementaux »²⁵³ et le PNEC fait appel aux chercheurs à expérimenter et aux entrepreneurs à fournir des « solutions climat ». À partir de 2024, les entreprises peuvent recevoir une **bonification d'impôts** pour leurs investissements et dépenses dans le cadre des transitions digitale, écologique ou énergétique. Sont visés les projets en matière d'efficacité énergétique et de décarbonation d'un procédé de production de l'entreprise ou de production ou de stockage d'énergie produite à partir de sources non fossiles renouvelables.

« La modernisation de la bonification d'impôt pour investissement constitue une mesure supplémentaire pour soutenir les entreprises sur la voie de la double transition écologique et digitale afin de préserver notre tissu industriel, artisanal et commercial et les emplois qui y sont liés, tout en contribuant au développement d'une économie résiliente et compétitive dans les années à venir. »

Ministre de l'Économie Franz Fayot (juillet 2023)²⁵⁴

Des opportunités d'affaires, de produits à fabriquer, de services à générer, de constructions et travaux à entreprendre dans le domaine de la mitigation et de l'adaptation climatiques sont présents dans presque chacune des 10 briques constituant la Vision ECO2050. Les réunir ici permet de se rendre compte du potentiel cumulé et mutuellement bénéfique et des effets d'entraînement possibles en misant sur les biens et services carbone. En alignement avec la stratégie de Singapour de promotion des **services carbone**,²⁵⁵ le Luxembourg pourrait favoriser les investissements dans les domaines économiques suivants, en rapport avec le climat, la nature et le carbone :

- La recherche, expérimentation et formation *carbone et nature* (toutes les briques)
- L'ingénierie TIC, civile, électronique, agronomique, sylvicole, écosystémique, hydrologique (Brique 1, Brique 2, Brique 3 et Brique 5)
- La conception et mise en œuvre de grands travaux d'ingénierie, de réhabilitation écologique et de projets climatiques (Brique 1, Brique 2, Brique 3 et Brique 5)
- La manufacture de pièces, outils, équipements nécessaires aux transitions énergétique et climatique (Brique 1 et Brique 2)
- L'optimisation des chaînes d'approvisionnement (Brique 6)
- Les applications digitales, le développement de logiciels et *app* pour réduire les émissions et consommation de ressources (Brique 2), et créer des places de marché virtuel (*e-Holzhaft*) (Brique 2, Brique 4 et Brique 6)
- La comptabilité, l'enregistrement et le rapportage relatifs aux données d'émissions et aux transferts statistiques (Brique 6 et Brique 9)
- Le droit international, la gouvernance mondiale pacifique des ressources et la diplomatie climatique (Brique 8)
- Le conseil légal, l'intermédiation et le contentieux climatiques ou carbone (Brique 9)
- L'analyse de marché, la certification, la validation, le *benchmarking* et le rating carbone (Brique 9)
- La tarification et fiscalité carbone (Brique 9)
- Les technologies de surveillance, y compris satellitaire, des émissions et des risques de catastrophes (Brique 4, Brique 8 et Brique 10)
- La prévention et gestion du risque (Brique 10)
- Les assurances pour dommages physiques ou pour sous-émissions de crédits carbone (Brique 9 et Brique 10)

253 Parlement européen et Conseil de l'Union européenne (2022), Décision (UE) 2022/2481 du Parlement européen et du Conseil du 14 décembre 2022 établissant le programme d'action pour la décennie numérique à l'horizon 2030

254 Ministère de l'Économie (2023), Yuriko Backes et Franz Fayot ont présenté une réforme majeure de la bonification d'impôt pour investissement applicable au niveau des entreprises, communiqué

255 South Pole (2021), *Study of Singapore as a Carbon Services Hub*

#7 Diversifier l'économie en l'adaptant aux enjeux du futur

En réponse à cette mégatendance de l'écologisation des économies, le Luxembourg pourrait focaliser ces **Centres de recherche sur l'adaptation** de l'économie et de la société au nouveau contexte biophysique marqué par les crises environnementales. Ils alimenteraient la nouvelle économie en innovation environnementale²⁵⁶ et en connaissances transposables en produits et services carbone et nature.

Les investisseurs et les entreprises sont à la recherche de **projets « durables » ou « climatiques »** crédibles, les uns pour opérer des placements rentables, les autres pour acquérir des crédits carbone intègres. Le Luxembourg deviendrait ainsi une référence en développement de projets climatiques physiques, sur le territoire national et en collaboration grande-régionale, pour les latitudes européennes mais aussi pour les pays du Sud avec lesquels le pays entretient des partenariats de coopération. En fait, ce sont les pays du Sud qui disposent de la plus grande expérience en matière d'adaptation aux conditions climatiques extrêmes, de développement bas-carbone ou d'économie *low tech* et circulaire, une expertise dont les pays du Nord pourraient s'inspirer.

En termes d'infrastructures et de services d'atténuation, l'accent pourrait être mis sur le stockage d'énergie. Fort de son expérience de pompage-turbinage à Vianden, un possible marché à développer en partenariat international serait celui du stockage d'énergie en recourant aux possibilités offertes par le territoire,²⁵⁷ afin de ne pas miser que sur les batteries aux composants rares et importés. La recherche nationale pourrait s'investir dans la mise au point de services d'inertie pour systèmes électriques. Elle pourrait aider à maintenir et améliorer (p.ex. via les champignons dans le sols) la **séquestration naturelle du carbone** dans les sols et forêts, à adapter les ressources forestières et hydriques de la Grande Région, à investir dans le bio-mimétisme, à systématiser la réhabilitation écologique (infrastructures vertes, [Brique 5](#)), à concevoir des systèmes de redondance ([Brique 5](#)) ou à opérationnaliser la sobriété des ressources et dans les comportements (innovation sociétale et développement de nouveaux modèles d'affaires – [Brique 3](#)).

Le PNEC identifie des opportunités économiques dans les transitions énergétique et climatique. Les travaux de renforcement et d'interconnexion continentale du **réseau européen d'électricité** sont un énorme marché pour la manufacture.²⁵⁸ Plus proche de nous, l'industrie nationale pourrait aussi fournir en produits et services les centrales de génération d'énergie renouvelable, les pompes à chaleur et réseaux de chaleur, les systèmes de géothermie, les usines de biogaz. L'industrie du biogaz au Luxembourg, autrefois championne d'Europe en volume produit par habitant, retrouverait un second souffle. Les produits carbone à manufacturer concernent tant les *high-* (pièces de précision, produits ultraléger, technologies électroniques ou mécaniques fines) que les *low-tech* (réparation, pièces détachées, outils, cyclo-logistique).

256 MECD (2023), [Avis de la plateforme pour l'action-climat et la transition énergétique relatif à l'avant-projet de la mise à jour du PNEC du Luxembourg pour la période 2021 – 2030](#), Version finale du 11.07.23

257 Vasileios Kitsikoudis et al. (2020), [Underground pumped-storage hydropower \(UPSH\) at the Martelange Mine \(Belgium\): Underground reservoir hydraulics](#), *Energies*, 13(14), 3512 & SWT (2013) [Pumpspeicherwerk RIO, Trier](#)

258 Eyes on Europe (2021), [The European Super Grid : A solution to the EU's energy problems & "One potential policy remedy relates to electrical grid upgrades and cross border energy flow within Europe. IEA reports that capital investments in Europe's electrical grid were stagnant between 2015 and 2020 at about \\$50 billion per year, and barely rose in the years 2021 and 2022. By contrast, in China, capital investments in the grid grew by 16% to almost \\$83 billion in 2022. Our findings about the energy security benefits of renewables, which requires a capable electrical grid, provide support to calls by IRENA and others to increase investment in power grids and energy storage"](#), Jeff D. Colgan et al. (2023), [Quantifying the value of energy security: How Russia's invasion of Ukraine exploded Europe's fossil fuel costs](#), *Energy Research & Social Science*, Volume 103

Pour ce qui est du ***climate-proofing*** des systèmes, des projets phares consistent à collaborer au niveau européen et grand-régional pour rendre les infrastructures et activités critiques **robustes face aux extrêmes météorologiques** (pylônes résistants aux vents et tornades, constructions protégées de la chaleur et de l'eau, redondance et solutions dédoublées ([Brique 5](#))). Dans le cadre du Pacte vert et de la Stratégie d'adaptation de l'UE, la Commission européenne propose des **orientations techniques** pour la période 2021 – 2027 et indique les financements disponibles à cet effet.²⁵⁹

D'autres travaux d'adaptation concernent p.ex. la migration assistée des forêts vers le Nord, la prévention et la gestion des excès (inondations) et des pénuries d'eau (sobriété, stockage) ou l'anticipation de nouveaux vecteurs de maladie. Comme les Pays Bas entreprennent depuis des décennies des grands travaux pour faire face à la montée du niveau de la mer, comme Singapour qui dispose d'un plan de protection de ses côtes sur 100 ans, le Luxembourg embarque dans de grands travaux séculaires, ce qui stimule l'économie.

Pour ce qui est du volet *soft*, les *carbon services* n'ont pas besoin de beaucoup de nouveaux terrains pour y construire des bâtiments, d'équipement ou de personnel. Ils peuvent se greffer pour l'essentiel sur le tissu urbain existant qui héberge déjà les acteurs, fournisseurs et clients du tertiaire. On peut imaginer des salariés nomades travaillant sur leurs ordinateurs à distance, des salariés travaillant à partir de leurs domiciles ou des salariés installés en espace de co-travail proche des hubs multimodaux de transport ou des frontières. Ainsi, ce qui nous prémunit des menaces climatiques devient en même temps un moteur économique sobre en foncier.

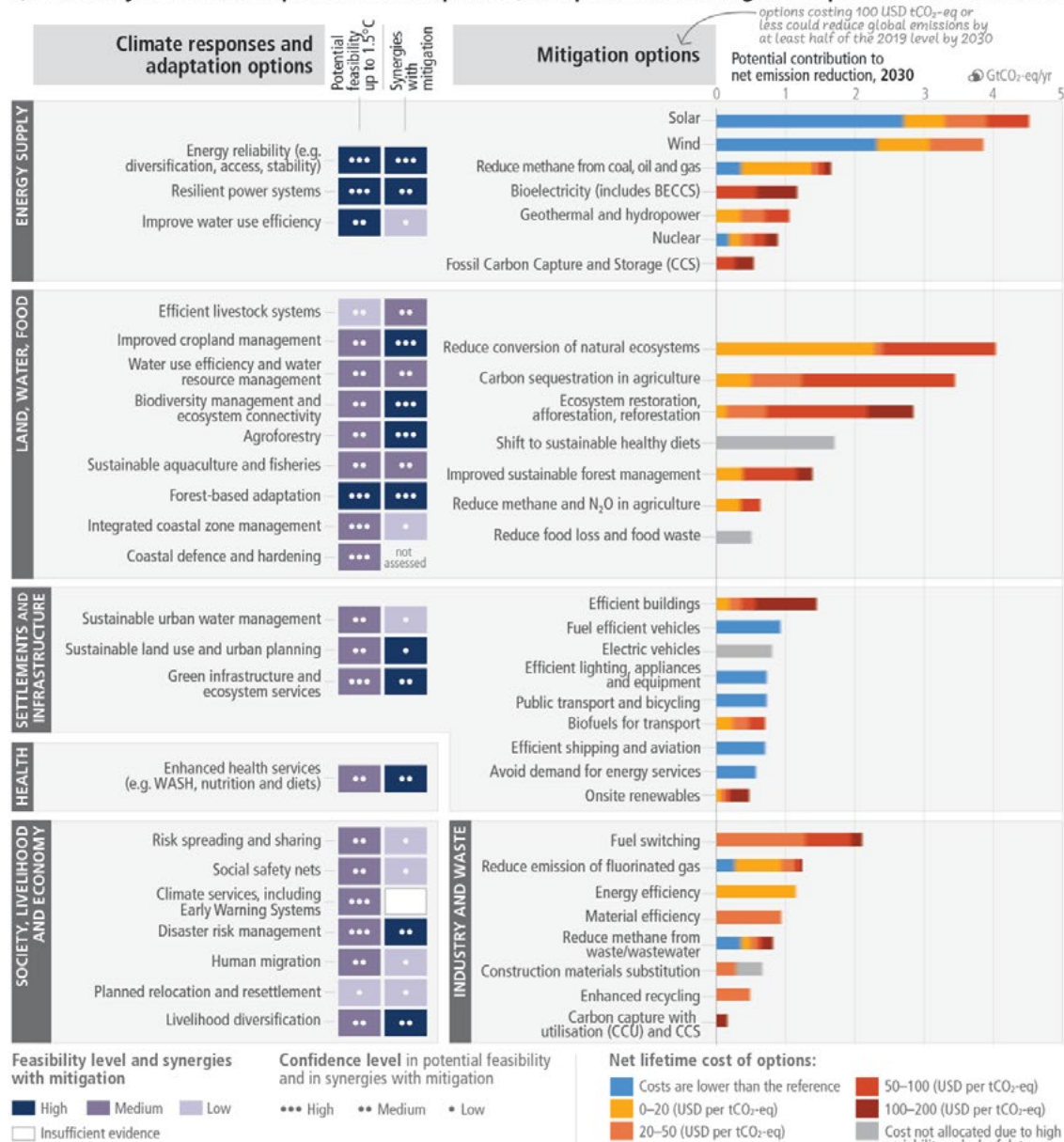
²⁵⁹ European Commission (2021), [Commission adopts new guidance on how to climate-proof future infrastructure projects](#), communiqué, [Orientations techniques pour la prise en compte des enjeux climatiques dans les projets d'infrastructure pour la période 2021-2027](#) (2021/C 373/01)

#7 Diversifier l'économie en l'adaptant aux enjeux du futur

Le GIEC propose aussi une liste de projets et investissements de mitigation et d'adaptation climatiques (Figure 18), comportant tant des technologies, des infrastructures vertes et grises que des services et nouveaux modèles de gestion de la demande :

There are multiple opportunities for scaling up climate action

a) Feasibility of climate responses and adaptation, and potential of mitigation options in the near-term



b) Potential of demand-side mitigation options by 2050



Figure 18. Rapprochement des mesures d'adaptation et d'atténuation et contributions de la production et de la consommation à la lutte contre le dérèglement climatique²⁶⁰

L'infrastructure numérique et la capacité nationale de calcul des *High Performance Computers* (HPC) sont appelées à être pleinement mises en valeur. Les intérêts et expertises du Luxembourg dans la sidérurgie (décarbonation réglée via ETS), les affaires maritimes²⁶¹ et l'aviation (*International Maritime Organisation* (IMO) et *Carbon Offsetting & Reduction Scheme for International Aviation* (CORSIA)), le secteur bancaire (compliance et projets carbone, risques), l'espace (observation satellitaire) pourraient converger et constituer le bouillon de culture de cette industrie carbone unique au monde.

Tous les produits et services carbone ont besoin de la digitalisation. L'avantage du Luxembourg consiste à proposer des applications digitales carbone qui soient en même temps multilingues (LU, FR, DE, EN, PT) et exportables. La bonne infrastructure digitale et le solide cadre dont dispose le Luxembourg en matière de propriété intellectuelle²⁶² peuvent être combinés pour faire de la particularité luxembourgeoise du **multilinguisme** un avantage commercial.

Au-delà de l'aspect carbone, les applications linguistiques sont une branche à part entière à stimuler. En développant les technologies, services et outils digitaux multilingues, des barrières linguistiques peuvent être abolies, l'apprentissage des langues peut être facilité et le travail avec des textes et enregistrements vocaux dans plusieurs langues peut être assisté. Les technologies linguistiques vont bien au-delà de la traduction automatique. Ils offrent des applications pour l'analyse de texte, telles que la reconnaissance et l'anonymisation de l'entité nommée, les systèmes de dialogue, les moteurs de recherche, la synthèse automatique du texte, la parole au texte et plus encore. Les technologies linguistiques peuvent être développées et personnalisées pour tout scénario spécifique où le langage humain est traité.

Un autre exemple pour lequel le Luxembourg est bien outillé concerne le domaine des **assurances**. Le dérèglement climatique et le déclin de la biodiversité vont générer de nouveaux risques et besoins qui ne sont pas nécessairement couverts par les assurances privées. Ces assurances risquent de devenir inabordables pour les entreprises et ménages faibles et exposés.²⁶³ De nouveaux modèles d'assurance sont à développer. Cela constitue également un argument en faveur de la prévention : chaque euro investi dans les systèmes d'alerte précoce génère en moyenne 131 euros de pertes physiques et coûts de réponse évités et d'avantages sociétaux générés.

Une forte complémentarité existe aussi entre les besoins et atouts du secteur financier et ces services carbone.

La **place financière luxembourgeoise** a, en effet, un rôle pionnier dans le domaine de la finance verte et de la finance inclusive et innovante. Il s'agirait de soutenir et de renforcer l'excellence de ce secteur économique et sa montée en puissance pour accroître l'attractivité du prix du capital vert et permettre un allongement des horizons d'investissement. Les rendements relativement plus faibles pourraient alors être compensés par une plus forte intégrité de la place financière. Il s'agit aussi d'anticiper le mouvement par lequel des pertes de profits plus importantes pourront à l'avenir provenir des dommages climatiques. De fait, les investissements vers des placements « durables » verront leur intérêt s'affirmer et leurs volumes augmenter. L'économie pourrait profiter de l'ouverture internationale de la place financière pour financer les investissements lourds que nécessitent les transitions.

261 Il y a lieu de noter que la décarbonation pour le maritime est notamment réglée par la stratégie révisée de l'Organisation Maritime Internationale (OMI) (Marine Environment Protection Committee, 3-7 July 2023) qui renforce considérablement les objectifs climatiques pour le transport maritime international. L'objectif est d'atteindre zéro émission de GES par les navires à l'horizon 2050, en visant une réduction d'au moins 20% des émissions en 2030, (30%, par rapport à l'année de référence 2008) et une réduction d'au moins 70% des émissions en 2040, (80%, par rapport à l'année de référence 2008).

262 L'Institut de la Propriété Intellectuelle Luxembourg (IPI) a été créé en 2015; ce groupement d'intérêt économique (GIE) est destiné à fédérer les compétences nationales et internationales en matière de propriété intellectuelle.

263 Shane Whright (2023), *Looming insurance crisis could make the GFC 'look like a picnic'*, The Sydney Morning Herald

#7 Diversifier l'économie en l'adaptant aux enjeux du futur

Des compétences supplémentaires sont nécessaires pour les nouveaux chantiers concernant le *reporting* extra-financier, l'identification et la gestion des risques physiques et transitionnels, l'intégration des scénarios climatiques²⁶⁴, le suivi de la double matérialité consacré par la nouvelle directive *corporate sustainability reporting* (CSDR), la détection du *greenwashing*, la conception et le suivi de produits de placement réellement durables sur base de projets physiques de réduction des émissions ou de restauration écologique. Vu l'impact de la dégradation de la nature sur l'économie et les finances, le *reporting biodiversité*²⁶⁵ s'ajoutera à l'avenir au *reporting climat*²⁶⁶ des institutions bancaires et des entreprises. Tous ces nouveaux besoins appellent une expertise spécialisée et multilingue.

Les risques physiques résultant de la perte de la biodiversité pour les entreprises au Luxembourg



Observations générales :

Les solutions sur site sont principalement axées sur la régénération, la protection ou la restauration de la biodiversité et des écosystèmes plutôt que sur la prise de conscience des risques physiques découlant de l'inaction de l'entreprise et de l'homme. De plus, il est notable que les solutions sur sites n'illustrent pas les grands impacts et les grandes dépendances du secteur d'activité en lui-même. Pour distinguer cela, il est impératif de rappeler qu'une chaîne de valeur est segmentée en deux :

- La chaîne de valeur d'entretien du bâtiment (gestion des jardins, produits d'entretiens, etc.)
- La chaîne de valeur de l'activité principale (extraction, production, distribution, etc.)

Compte tenu de la complexité de la biodiversité et des écosystèmes, il est crucial que les entreprises discernent ces deux aspects afin de comprendre où se situent leurs risques physiques à court, moyen et long terme.

Constats spécifiques :

- Le manque de sensibilisation identifié dans le rapport est confirmé par IMS.
- IMS Luxembourg confirme l'information du rapport « RISK2050 » concernant le fait qu'une transformation profonde sera difficilement réalisable sans réglementations contraignantes. Le rôle d'IMS est de montrer que l'anticipation de directives européennes ou nationales peut servir les entreprises en jouant le rôle de précurseur.

264 P.ex. les scénarios climatiques pour banques centrales et régulateurs, élaborés en 2021 par le Network of Central Banks and Supervisors for Greening the Financial System (NGFS) sont (i) Orderly Transition, (ii) Disorderly Transition et (iii) Hothouse World.

265 Voir [Taskforce for Nature-related Financial Disclosures](#) et [The Economics of Ecosystems and Biodiversity](#). "US\$10tn cost to the world economy from the loss of nature in a 'business-as-usual' scenario by 2050" selon WWF (2020), [Assessing the global economic impacts of environmental change to support policy-making](#). 85% des plus grandes firmes internationales ont un risque modéré ou haut de dépendance de la nature à travers leurs opérations directes (voir S&P, Nature positive, mai 2023). Trucost (2013), [Natural capital at risk: the top 100 externalities of business](#).

266 Voir Taskforce on Climate-related Financial Disclosures

Des synergies existent aussi entre les secteurs espace et carbone. L'objectif de la **stratégie spatiale luxembourgeoise pour la période 2023 à 2027** est de poursuivre l'effort consenti pour le développement du secteur spatial luxembourgeois en tant que vecteur de diversification et de pérennisation de l'économie luxembourgeoise, mais également en tant que contributeur majeur de la durabilité des activités sur Terre et en privilégiant une approche responsable des activités dans l'espace.

« La stratégie renouvelée pour les 5 années à venir se focalisera sur le développement des compétences industrielles dans les thématiques qui permettront de contribuer en partie aux objectifs de développement durable, de supporter la coopération au développement et l'action humanitaire du Luxembourg, ou encore de contribuer au développement d'autres secteurs économiques d'intérêt pour le Grand-Duché. »

Ministre de l'Économie Franz Fayot, présentation de la stratégie spatiale 2023-2027 (déc 2022)

La stratégie spatiale 2023-2027 se décline selon 4 axes principaux:

- La durabilité des activités économiques
- La durabilité des activités sur Terre
- La durabilité des activités dans l'espace
- L'utilisation durable des ressources spatiales

La stratégie spatiale pourrait directement alimenter l'économie carbone et nature en connaissances, *know-how*, données, produits et équipements, et en matière : le Luxembourg deviendrait un pionnier dans la récupération des débris spatiaux encombrant les orbites et contenant beaucoup de métaux rares.

B. Adapter l'alimentation aux nouveaux défis, opportunité d'affaires et création de bien commun

Le plan stratégique national du Luxembourg pour la mise en œuvre de la politique agricole commune 2023-2027 vise une **agriculture pérenne et adaptée aux nouveaux défis**. La 1^{ère} priorité consiste à assurer un revenu équitable aux producteurs, à soutenir leur compétitivité, à répartir plus équitablement les aides aux exploitations familiales, à aider davantage les filières en difficulté et à diversifier et moderniser la production agricole. La deuxième grande priorité est de rendre l'agriculture plus respectueuse de l'environnement et des ressources naturelles. Enfin, le Plan Stratégique National (PSN) soutient le renouvellement des générations, les nouveaux agriculteurs et la création d'entreprises. Cela passe par le soutien aux jeunes agriculteurs et les nouveaux entrants (au Luxembourg, 75% des jeunes exploitants louent les terres), le renforcement de la durabilité des exploitations agricoles avec des aides à l'investissement ciblées, les équipements innovants et écologiques, les paiements directs pour actions dans le domaine de la protection de la biodiversité et du climat, la promotion des circuits courts.

Une nouvelle loi agraire en faveur d'une **agriculture durable et compétitive** et d'un développement rural porteur de qualité de vie pour tous a été adoptée en juin 2023. Plus d'un tiers du budget global (812 millions EUR) est consacré à des **aides agro-environnementales en faveur du climat** que les agriculteurs actifs reçoivent à condition d'orienter leur mode de production vers des pratiques durables, respectueuses de l'environnement, du climat, de la biodiversité et du bien-être animal. La finalité primaire de l'agriculture étant la production de produits alimentaires, la loi place la **compétitivité** de toutes les filières agricoles luxembourgeoises au centre des préoccupations. Le recours aux nouvelles technologies, l'électrification et la digitalisation de l'agriculture, les partenariats stratégiques avec les secteurs de la recherche et de l'innovation ainsi que le développement de programmes de conseil agricole holistique figurent parmi les autres priorités de cette nouvelle loi.

Dans ce sens et sur le plan pratique, le ministère de l'Agriculture, de la Viticulture et du Développement rural (MAVDR) et Luxinnovation ont signé une première convention de partenariat qui vise à **innover**

#7 Diversifier l'économie en l'adaptant aux enjeux du futur

dans le secteur agricole. Il s'agit de soutenir le secteur agro-alimentaire et à renforcer la compétitivité, la diversification et la résilience à travers l'innovation, la digitalisation et la collaboration avec les acteurs de la recherche. Les bénéficiaires potentiels de cette coopération sont les fournisseurs de produits et services agro-alimentaires ainsi que les entreprises de transformation agro-alimentaire, d'aquaponie et de *vertical farming*, de services digitaux, d'équipements, de conseil agro-alimentaire, de distribution agro-alimentaire et de bio-économie.²⁶⁷

Assurer la continuité de la production alimentaire et augmenter l'autosuffisance alimentaire passe aussi par l'adaptation agronomique aux conditions biophysiques changeantes, au développement de variétés plus résistantes à la sécheresse ou aux maladies nouvelles. Selon France Stratégie, **l'agroécologie** apparaît comme plus performante d'un point de vue économique (rémunération de l'exploitant) et environnemental que l'agriculture conventionnelle. Et cela est amené à s'amplifier avec le changement climatique et l'augmentation des prix des intrants synthétiques. L'agroécologie s'appuie sur un principe fondamental : utiliser de manière optimale les ressources apportées par la nature pour développer une agriculture utilisant le minimum d'intrants de synthèse (engrais, pesticides ou antibiotiques) et accroître la résilience et l'autonomie des exploitations.²⁶⁸

C. Adapter la santé aux nouveaux défis, opportunité d'affaires et création de bien commun

La santé est un service public essentiel, dont le bon fonctionnement a été mis à l'épreuve par la pandémie COVID-19 qui a vu une mobilisation sans précédent de tous les acteurs privés et publics du système de santé.

Au regard des leçons tirées de cette crise sanitaire, les principes de la Vision ECO2050 peuvent soutenir la transition vers un système de santé plus résilient et créer également des opportunités d'affaires, notamment en suivant ces mesures structurantes :

- Anticipation des nouveaux défis sanitaires
- Transition digitale pour renforcer le système de santé et optimiser la sécurité et la qualité des soins
- Transition écologique dans les établissements de soins
- Renforcement des actions de prévention²⁶⁹

L'anticipation et la planification à long terme permettront de préparer le système de santé aux nouveaux défis sanitaires. En février 2020, les ministres de la Santé et la Sécurité sociale avaient convoqué les parties prenantes du secteur de santé et soin au *Gesondheitsdësch*, afin de définir « une vision partagée de notre système de santé de demain ».²⁷⁰ Il en résulte le **Plan National Santé** (PNS) adopté par le gouvernement en juillet 2023.²⁷¹ Parmi les défis à relever pour adapter les secteurs de la santé et des soins, il souligne p.ex. la démographie médico-soignante, la croissance démographique exceptionnelle au cours des dix dernières années du Luxembourg, les aspirations professionnelles des jeunes professionnels de santé. Le PNS reprend le *wellbeing* index de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) comme ambition. En parallèle, un travail sur les mégatendances a été entrepris par Luxinnovation courant 2020.²⁷²

²⁶⁷ Ministère de l'Économie (2023), *Signature d'une première convention de partenariat pour soutenir le secteur agro-alimentaire et renforcer la compétitivité et la durabilité à travers l'innovation*, communiqué

²⁶⁸ Alice Grémillet et Julien Fosse (2020), *Les performances économiques et environnementales de l'agroécologie*, France Stratégie

²⁶⁹ Deloitte (2016), *Health Care Foresight, Identifying megatrends*

²⁷⁰ *Gesondheitsdësch*

²⁷¹ MS et MSS (2023), *Présentation du Plan national santé*

²⁷² Luxinnovation (2020), *Post COVID-19 Market Trends*, Market analysis

En effet, de nouvelles mégatendances²⁷³ ont été observées et concernent en particulier le vieillissement de la population et l'augmentation des besoins en soins de santé des seniors et leur impact budgétaire, la digitalisation des services de santé et la personnalisation des soins, la suppression des tabous liés à la santé mentale²⁷⁴ et la hausse de l'abus de substances nocives. D'autres tendances pouvant potentiellement impacter le système de santé sont par exemple : le changement climatique²⁷⁵, l'urbanisation et la dégradation de l'environnement, les défis pour assurer le financement du système à long terme. Alors que les décès dus aux maladies transmissibles diminuent au niveau mondial, les maladies non transmissibles telles que le cancer, le diabète et les maladies cardiovasculaires augmentent rapidement. Ces éléments se retrouvent aussi dans le PNS.

Il importe de se prémunir contre de nouvelles pandémies et vecteurs de maladies, de freiner la pollution et la perte de la biodiversité. Afin de mieux anticiper les menaces et les crises sanitaires potentielles, l'Autorité européenne de préparation et de réaction en cas d'urgence sanitaire (HERA) a été créée. Celle-ci permet la collecte de renseignements et le renforcement des capacités de réaction nécessaires à l'échelle européenne. L'UE soutient aussi l'initiative *One Health*, née à la suite de la pandémie COVID-19, via laquelle des organisations internationales coordonnent leurs mandats et approches en reconnaissance du fait que les santé humaine, animale ou environnementale sont intimement liées.²⁷⁶ Enfin, le Traité Pandémique de l'OMS a également pour objectif une meilleure préparation aux pandémies au niveau mondial.

La transition digitale vise à augmenter la qualité, la sécurité, et l'efficacité de la prise en charge des patients, l'efficacité du système, et l'attractivité de l'environnement de travail pour les professionnels. Elle renforce le développement d'un système de santé intégré assurant ainsi une meilleure continuité des soins. Elle permet aussi le développement de la recherche scientifique et la surveillance du système de santé par l'apport de nouveaux éléments de preuves basées sur la vie réelle.

Les technologies de santé digitales, mises au point avec le concours des entreprises du domaine, créent de nouvelles possibilités dans l'organisation des soins, la prévention, le diagnostic et les traitements médicaux, comme p.ex., la télémédecine, la télésurveillance, les parcours de patient intégrés et l'usage de l'IA. Elles deviennent ainsi une aide à la prise de décision clinique, optimisent le suivi d'un patient ainsi que l'orientation et la coordination de son parcours de soins. Des diagnostics peuvent être rendus plus précocement avec une marge d'erreur réduite.²⁷⁷ Grâce à des fonctions spécifiques de surveillance, ces technologies peuvent alors être un outil important lors d'une téléconsultation ou en télésurveillance notamment à l'issue d'une hospitalisation ou en cas de soins à domicile. Elles permettent également au patient d'être mieux informé sur sa maladie et pleinement intégré dans les décisions de prise en charge.

La digitalisation dans le domaine de la santé peut également avoir un impact important sur l'organisation des établissements de soins et sur la qualité de l'environnement de travail du personnel médical et soignant. La digitalisation des systèmes de gestion hospitaliers renforce l'efficacité, l'efficacité et la résilience des établissements de soins ainsi que la sécurité des soins dispensés. L'automatisation de certaines tâches administratives libère du temps au personnel soignant pouvant être consacré au patient et aux aspects humains des métiers médicaux et de soin. Grâce à un système souverain et fiable de gestion des données personnelles, les technologies digitales permettront d'accélérer l'avènement de la médecine personnalisée pour augmenter l'efficacité et l'efficacité des traitements et des soins.

273 WEF (2022), 6 Trends that define the future of health and wellness. Deloitte (2016), Health Care Foresight, Identifying megatrends

274 "The World Health Organisation (WHO) estimates that if current trends for demographic and epidemiological transition continue, the burden of depression will become the 2d leading cause of disability-adjusted life year (DALYs) lost. There are grave concerns regarding the exponential increase in mental health issues." selon Deloitte (2016), Health Care Foresight, Identifying megatrends, p.10. L'OMS estime que, avant la crise COVID-19, 1 personne sur 8 dans le monde présentait un trouble mental. La plupart des personnes malades n'ont pas accès à des soins efficaces. Voir OMS (2022), Troubles mentaux. L'OCDE évalue le coût économique global.

275 WHO (2013), *Protecting Health from Climate Change: Vulnerability and Adaptation Assessment*, World Bank (2018), *Climate Change and Health Diagnostic. A Country-Based Approach for Assessing Risks and Investing in Climate-Smart Health Systems*. WHO (2020), *WHO Guidance for climate-resilient and environmentally sustainable health care facilities*, et CDC (2019), *Assessing Health Vulnerability to Climate Change: A Guide for Health Departments*. Centers for Disease Control and Prevention

276 Commission européenne (2022), *Brief me on Biodiversity and health*, Knowledge for policy, Knowledge Center for biodiversity

277 Luxinnovation (2020), *Post COVID-19 Market Trends*, Market analysis

#7 Diversifier l'économie en l'adaptant aux enjeux du futur

La littératie digitale devra également faire partie de l'éducation, afin de préparer les usagers à comprendre l'utilisation des données et la pertinence des nouveaux outils mis à leur disposition. En l'absence d'une démarche inclusive pour le développement de la littératie digitale, l'appropriation des nouvelles technologies ne pourra pas être accessible à tous ceux qui pourraient en bénéficier. Un système à deux vitesses, basé sur la littératie digitale en résulterait.

La littératie digitale est également capitale pour que professionnels de la santé puissent être formés à l'utilisation appropriée des nouveaux outils – aujourd'hui téléconsultation, télémonitoring, nouvelles technologies en général et support intégré à la décision clinique, et à leur appropriation. Les professionnels doivent également développer leurs compétences en utilisation secondaire des données pour pouvoir évaluer et améliorer les soins de manière continue. Cette démarche d'amélioration continue et de confrontation des pratiques cliniques repose sur l'utilisation (primaire ou secondaire) de données structurées générées lors de la pratique clinique, soutenue par des systèmes d'information adéquats.

Des mesures de transition écologique appliquées aux établissements de soins impliqueraient de se doter d'infrastructures résilientes et décarbonées.²⁷⁸ Les infrastructures et modes de fonctionnement devraient devenir plus sobres en ressources et plus résistants face aux extrêmes climatiques, ruptures de chaînes d'approvisionnement ou attaques informatiques, afin de pouvoir soigner durablement.²⁷⁹ L'application de l'IA pourrait aider à choisir le produit ou le soin à plus faibles émissions. La crise COVID-19 a mis au jour l'importance de diversifier les sources d'approvisionnement (Brique 1). Le stockage national stratégique de médicaments et matériels médicaux est une bonne pratique à maintenir et systématiser. Elle a aussi rendu possible l'émergence au Luxembourg d'une chaîne de valeur stratégique régionale dans le diagnostic médical. Cet exploit a amené le ministère de l'Économie à en faire un projet pilote dans la feuille de route "Ons Wirtschaft vun muer" préparée en pleine pandémie. Il s'agit maintenant de rendre cette chaîne pérenne et activable en cas de besoin.

La transition vers un renforcement de la médecine préventive contribue à une meilleure santé générale de la population et à maîtriser les coûts du système de santé. Ainsi, il faudra investir dans la littératie en santé, c'est-à-dire la compétence qui permet de faire les bons choix pour sa santé. Il s'agit d'apprendre, dès le plus jeune âge, à accéder à l'information, à la comprendre, à l'utiliser pour forger des jugements pour maintenir ou améliorer sa santé. Ce n'est pas une éducation « prescriptive » où l'on apprend qu'il faut faire ceci ou cela, car de telles prescriptions peuvent devenir obsolètes avec l'évolution des connaissances, mais une compétence qui permet de gérer la foison d'informations, d'identifier les sources fiables et les informations pertinentes afin de s'y retrouver dans un système de santé de plus en plus complexe et en mutation.

²⁷⁸ Nathalie Baudinière (2022), Quelle sobriété pour le numérique en santé à l'heure de l'accélération du déploiement ?, Agence du numérique en santé, Transition écologique des établissements de soin

²⁷⁹ En France, il est estimé que les émissions de la santé représentent entre 6,6% et 10% de l'empreinte carbone nationale. Voir The Shift Project (2022), Décarboner la santé pour soigner durablement, et notes complémentaires. "4.4% of the world's and 5.2% of Germany's national GHG emissions are produced by the health system", Josh Karliner et al. (2019), How the Health Sector Contributes to the Global Climate Crisis and Opportunities for Action, in Climate-smart health care series.

Suivant l'orientation de la Vision ECO2050, la santé personnelle devient une autre réserve, à entretenir et à ménager. Une bonne santé est essentielle pour le bien-être individuel, l'équilibre psychologique, l'estime de soi, le plaisir au travail, bref, pour la résilience sociétale. Une amélioration de la santé des personnes impacte positivement leur qualité de vie, leurs relations sociales et l'environnement qui les entoure (Brique 3). Les changements des conditions de vie et de l'environnement s'accroissent et peuvent avoir un effet direct sur l'état de santé des populations²⁸⁰ : déclin de la couche d'ozone (cancer de la peau), bioaccumulation de polluants chimiques (dégradation génétique et de la fertilité), vagues de chaleur, et chargement de l'air en aérosols et particules fines (potentiellement létales) ne sont que quelques exemples.²⁸¹ Alors que l'amélioration du milieu et le verdissement des villes est une entreprise collective à longue haleine, chaque individu peut être encouragé à mener une vie plus saine au niveau de son alimentation, de sa pratique sportive, de sa vie professionnelle, de son hygiène numérique et de ses loisirs (Brique 3).

Pour l'avenir, il s'agit de ménager le système et de l'aider à transiter, selon la maxime *Raise the price of vice, lower the cost of virtue*.²⁸² Renforcer la synergie entre économie et santé contribue à la préservation à long terme de l'accès pour tous au service public de la santé à un coût abordable.²⁸³

280 Sabine François (2022), Comment accompagner les territoires en Grand-Est pour renforcer leur résilience ?, présentation à la [conférence Luxembourg Stratégie](#) du 17.10.22

281 Will Steffen et al. (2015), [The nine planetary boundaries](#), et Dorothea Baltruks et al. (2022), [Health within planetary boundaries](#)

282 Deloitte (2016), [Health Care Foresight, Identifying megatrends](#)

283 "Universal health coverage (UHC) means that all people have access to the full range of quality health services they need, when and where they need them, without financial hardship." WHO (2023), [Universal health coverage](#)



#8

Intégrer les nouveaux défis à la **diplomatie économique**

Faire cavalier seul, c'est précipiter l'échec. À l'instar des biens publics globaux²⁸⁴ qui sont entre autres régis par des traités, conventions ou accords internationaux (Droits de l'homme, le changement climatique ou la biodiversité), le Luxembourg peut, dans les enceintes multilatérales, se faire l'avocat de l'extension d'un tel cadre légal international aux biens publics essentiels qui en sont actuellement dépourvus et qui ont des incidences fortes sur l'économie nationale. À la lumière des nouveaux défis liés aux multiples transitions dans un contexte global de limites biophysiques et de déséquilibres sociaux, il s'agit de saisir les opportunités et se prémunir des menaces que représentent certains biens publics globaux pour l'humanité. Cela passe par la promotion de l'équité du partage et de la gestion des ressources planétaires et la préservation de la capacité des pays les plus démunis à atteindre un niveau de développement assurant à leurs concitoyens des conditions de vie dignes.

Parmi les biens communs globaux pour lesquels le Luxembourg a soit un intérêt économique direct soit une expérience certaine, et donc un rôle potentiel en tant que médiateur ou défenseur, on peut compter :

- Matières premières critiques
- Géo-ingénierie
- IA et *metaverse*
- Ressources spatiales
- *Green shipping* (KBR) et *deep sea mining*
- Mesure de la résilience économique et bien-être

Le Luxembourg se démarque sur la scène internationale en investissant 1% du revenu national brut dans l'aide au développement, ce qui le place parmi les cinq économies développées les plus ambitieuses dans ce domaine. Le gouvernement œuvre actuellement à l'élaboration d'un cadre juridique pour la conduite responsable des affaires et la *due diligence* dans la gestion de la chaîne d'approvisionnement.²⁸⁵ Le réseau diplomatique et consulaire mondial du Luxembourg soutient l'économie nationale, le commerce et l'investissement.²⁸⁶ À cela s'ajoutent les 9 *Luxembourg Trade and Investment Offices* (LTIO) du ministère de l'Économie qui développent la connaissance des marchés locaux, identifient les investisseurs potentiels et accompagnent les entreprises sur les marchés étrangers.

Détenir les métaux stratégiques est indispensable pour réussir la décarbonation.²⁸⁷ Le Luxembourg pourrait devenir un avocat de l'accès au et du partage équitable et négocié des **matières premières** critiques et ressources rares, p.ex. en œuvrant pour la mise en place d'une « COP des matières premières ».²⁸⁸

284 En tant que « biens publics », les biens publics mondiaux sont, par définition en sciences économiques, (i) non-rivaux (c'est-à-dire leur utilisation par un premier acteur n'empêche pas leur utilisation par un second) et (ii) non-excluables (c'est-à-dire leur utilisation par quiconque ne peut pas être entravée). De plus, ils se caractérisent par une utilisation à l'échelle globale. L'écosystème de la Terre, sa biodiversité, la qualité de l'air, voire même la santé (cf. Boidin (2016), La santé, bien public mondial ou bien marchand ? Réflexions à partir des expériences africaines, Presses Universitaires du Septentrion) sont des exemples de biens publics mondiaux.

285 Ministère des Affaires étrangères et européennes (2021), Conduite responsable des entreprises

286 Luxembourg Trade & Invest, Luxembourg's global diplomatic and consular network is supporting the national economy, and Trade and Invest

287 Guillaume Pitron (2022), La guerre des métaux rares, éditions Les Liens qui Libèrent

288 Yves Jégourel (2023), Pour une véritable diplomatie européenne des matières premières, FEDIL (24 janvier 2023)

#8 Intégrer les nouveaux défis à la diplomatie économique

Selon la direction qu'elles prennent et l'encadrement qu'elles reçoivent, l'OCDE estime que la **géo-ingénierie et l'IA** font partie des risques existentiels (*x-risks*).²⁸⁹ Les **X-risks** sont des risques qui menacent l'avenir entier de l'humanité.²⁹⁰ La réduction des risques existentiels est un bien public mondial justifiant la création d'un cadre institutionnel pour l'action internationale. Ce cadre devrait idéalement être tel que le coût et la responsabilité de la fourniture de ces biens puissent être partagés équitablement entre tous.²⁹¹

La **géo-ingénierie** (p.ex. *direct air capture, aerosol injection, cloud thinning, ocean fertilisation*) peut être définie comme le processus par lequel les humains manipulent volontairement l'apport d'énergie au système terrestre en déployant des processus naturels ayant un impact sur le climat au moyen des technologies disponibles.²⁹² Il n'existe actuellement pas de cadre international régissant les initiatives, publiques ou privées, pour interférer techniquement avec le climat, alors que le rayonnement solaire est un bien commun. Il est urgent de constituer une gouvernance globale afin d'éviter des interférences, dérives ou mal-adaptations aux effets néfastes irréversibles. Cet *anticipatory policy making* est aussi défendu par le *think tank* du Parlement européen : "The EU could help advance preparedness in this area; for example, by throwing its diplomatic weight behind multilateral initiatives moving in this direction. The EU and its partners could promote an international governance framework for geoengineering."²⁹³

Face à l'importance de la **digitalisation** et de l'**IA**, se doter d'un cadre international fixant les normes de protection des personnes et des infrastructures digitales contre des attaques numériques malveillantes, des activités criminelles, des systèmes d'armes autonomes serait un atout dans la prévention des risques globaux. Des textes pertinents sont en cours d'élaboration, que ce soit au niveau de l'UE, du Conseil de l'Europe, du Conseil du commerce et des technologies ou autres. L'IA devrait aider l'humanité à résoudre les polycrises et non à les accélérer. Ces efforts prolongeraient ceux menés au niveau national pour renforcer la résilience dans le cyberspace, tel qu'illustrés par la **stratégie de cyberdéfense**.

Les 3 lois d'Asimov de 1942 sont un point de départ intéressant, bien que fictif, pour créer un cadre global de conditions à respecter afin que l'IA et la robotique restent bénéfiques à l'humanité.²⁹⁴ La recommandation de l'UNESCO adoptée en 2021 relative à l'éthique de l'IA en est un autre. « Ce texte, qui a réussi à rallier les 193 États membres, est le signe d'une réelle prise de conscience des dangers potentiels d'une technologie qui s'étend à tous les domaines de la société, avec au premier chef le risque de biais, voire de discrimination, mais aussi les risques d'uniformisation, de surveillance de masse et d'atteinte à l'environnement, en particulier par sa consommation excessive en énergie. »²⁹⁵ Afin de faire partie des efforts de solidarité internationale, « l'IA pourrait se mettre au service du maintien et du renforcement des biens publics communs que sont l'éducation (en particulier à la citoyenneté et démocratie, à la durabilité, aux limites planétaires et à la réflexion systémique), l'accès aux soins et la lutte contre les inégalités et fractures socio-territoriales ».

289 OCDE Strategic foresight unit (2022), Project existential threats, «Better understood existential risks include nuclear war and climate change, but new risks are emerging, such as those from engineered pandemics and advanced AI systems», voir Duncan Cass Beggs (2022), Longtermism and Emerging Global Existential Risks, présentation OCDE, [conférence Luxembourg Stratégie](#), 17.10.22

290 Win Naudé et Otto Barten (2023), [Artificial General Intelligence: can we avoid the ultimate existential threat?](#), OECD Artificial Intelligence Policy Observatory

291 D'autres X-risk sont liés au mauvais usage des nanotechnologies, une guerre nucléaire, genetic and pandemic engineering, super-éruption volcanique, désastres, dérèglement climatique, destruction écologique, épuisement des ressources, l'impact d'un astéroïde, régime totalitaire répressif et super intelligence hostile. Voir Nick Bostrom (2002), [Existential Risks. Analyzing Human Extinction Scenarios and Related Hazards](#), Journal of Evolution and Technology, Vol. 9, No. 1 (2002).

292 Commission européenne (2022), [Geo-engineering: A roadmap towards international guidelines](#), JRC Publications

293 Scientific Foresight (STOA) (2021), [What if we could engineer the planet to help fight climate change?](#), podcast du European Parliamentary Research Service

294 La première loi est qu'un robot ne doit pas nuire à un humain ou, par son inaction, permettre à un humain de se faire du mal. La deuxième loi est qu'un robot doit obéir à toute instruction qui lui est donnée par un humain, et la troisième loi est qu'un robot doit éviter les actions ou les situations qui pourraient l'amener à se blesser.

295 Christian Byk (2022), [L'ère du numérique conduit-elle à l'émergence de nouveaux acteurs et formes de souveraineté ?](#), Cahiers Droit, Sciences & Technologies

L'engagement du Luxembourg à développer un **secteur spatial** remonte aux années 1980 avec la création de SES. L'objectif politique, à l'époque tout comme aujourd'hui, est de faire du spatial l'un des piliers économiques du pays. En 2005, le Luxembourg a adhéré à l'Agence spatiale européenne (ESA) et en 2020 le Grand-Duché devient un des membres fondateurs des Accords *Artemis* mené par la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) et qui vise une exploration pacifique, transparente et durable de l'espace.

L'objectif de la **stratégie spatiale luxembourgeoise pour la période 2023-2027** est de poursuivre l'effort consenti pour le développement du secteur spatial luxembourgeois en tant que vecteur de diversification et de pérennisation de l'économie luxembourgeoise, mais également en tant que contributeur majeur de la durabilité des activités sur Terre et en privilégiant une approche responsable des activités dans l'espace.

Le pays peut ainsi devenir actif sur la scène internationale pour sécuriser le caractère universel des ressources et applications spatiales, défendre l'indépendance de l'UE en matière d'accès à l'espace et aux infrastructures spatiales et d'opportunités commerciales qui en résultent pour les États membres. Le Luxembourg pourrait se démarquer en promouvant spécifiquement l'élimination des débris spatiaux. Le Grand-Duché pourrait également s'allier avec des pays partageant les mêmes vues en matière de retombées socio-économiques de l'exploration spatiale et de partage des bénéfices.

EXEMPLE : APPLICATIONS SPATIALES BÉNÉFIQUES À L'HUMANITÉ

- Développer les **sciences de la vie** et des matériaux à partir d'expériences spatiales
- Résolution de l'accumulation des débris spatiaux
- Observation de la Terre et communications satellitaires pour :
 - Suivre l'augmentation du niveau de la mer, le dégel des glaces et du permafrost
 - Planifier l'adaptation (p.ex. construire des polders devant les mégapoles en bord de mer)
 - Prévenir des catastrophes et extrêmes climatiques
 - Améliorer la connaissance de la situation sur Terre notamment lors de conflits. (p.ex. dans le cadre de l'OTAN)
 - Gérer les situations de crise/ d'urgence (p.ex. emergency.lu)
 - Faire le monitoring de la biodiversité, de la restauration écologique, des migrations d'espèces
 - Détecter des émissions de CH₄
 - Améliorer les prévisions de **navigabilité maritime et fluviale** : nouvelles routes commerciales via pôle Nord, eau basse sur la Moselle/ Rhin, etc.



Source: <https://www.ses.com/>

À l'échelle mondiale, le secteur maritime est responsable de 3% des émissions de GES – une proportion amenée à s'étendre potentiellement jusqu'à 17% avec la progression du transport de fret d'ici 2050.²⁹⁶ Afin d'engager les 204 navires battant pavillon luxembourgeois dans la voie du **green shipping**, le ministre prévoit de déposer un avant-projet de loi au Conseil de gouvernement d'ici la fin du mois d'octobre 2023 visant à inciter les armateurs à investir dans des technologies modernes et plus respectueuses de l'environnement. Ces incitations passent, d'une part, par l'adaptation des frais d'immatriculation selon le principe du pollueur-payeur (avec une réduction jusqu'à 80% de réduction pour les navires à propulsion électrique, à voile ou à hydrogène « vert », Figure 19), d'autre part, par une majoration de la bonification d'impôt pour investissements dans les navires « verts ». Le Luxembourg est donc bien situé pour devenir actif sur la scène internationale en matière de *green shipping*. Des efforts sont actuellement en cours afin de lever des fonds via la Bourse de Luxembourg pour financer cette transition. Un autre précurseur en la matière est le *Global Center for Maritime Decarbonisation* basé à Singapour.

²⁹⁶ MECO (2023), Franz Fayot introduit le principe du "green shipping" dans le secteur maritime luxembourgeois, Communiqué

#8 Intégrer les nouveaux défis à la diplomatie économique

LES TECHNOLOGIES DU FUTUR: PROPULSIONS ALTERNATIVES

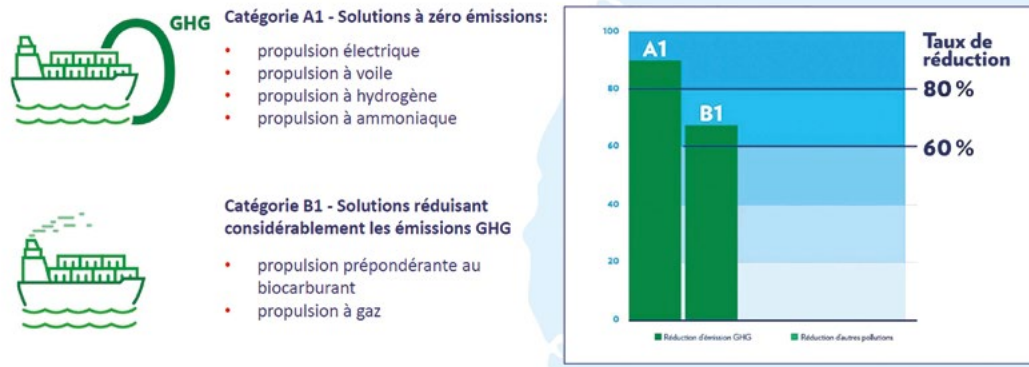


Figure 19. Réduction des frais d'immatriculation pour navires « verts »²⁹⁷

Pour ce qui est du **deep sea mining**, le Luxembourg devrait œuvrer, en coordination avec les autres pays membres de l'UE, afin de trouver au sein de l'Autorité internationale des fonds marins des règles de jeu équitables dans l'intérêt de toutes les parties concernées et en protégeant au mieux le milieu maritime.

Concernant la **mesure de la performance des économies** nationales, de nombreuses recherches et études sont en cours et les attentes du public, des acteurs économiques et des décideurs politiques sont grandes pour voir aboutir d'autres indicateurs maîtres que le PIB. En mai 2023, 5.000 personnes, dont une majorité de jeunes, ont assisté à la conférence "Beyond Growth", organisée au Parlement européen.²⁹⁸ Au ministère de l'Économie, le STATEC promeut la mesure du bien-être et Luxembourg Stratégie se concentre sur la mesure de la résilience économique englobant les limites biophysiques et les besoins socio-économiques fondamentaux. Le Luxembourg pourrait s'engager pour l'élaboration et la mise en place d'une norme internationale au niveau UE et OCDE.

Avec les évolutions récentes telles que les effets plus marqués du changement climatique ou la pandémie, il est devenu de plus en plus clair que le PIB est une mesure incomplète de notre progrès et de notre prospérité. Il ne reflète pas non plus pleinement les grands défis environnementaux ou sociaux de notre époque.

Le rapport de prospective stratégique de la Commission européenne²⁹⁹ explore des moyens concrets pour aller au-delà du PIB, en prenant en compte les aspects sociaux et environnementaux afin d'évoluer vers un **PIB ajusté**. Ceux-ci peuvent inclure la qualité de vie (santé, l'éducation ou les loisirs), les soins et le travail domestique non rémunéré, les inégalités, les coûts de dommages environnementaux (pollution ou émissions), ou épuisement des ressources naturelles.

Dans les enceintes de l'UE, le Luxembourg continuera à plaider pour la mise en place d'un **marché intérieur fort et intégré** et d'un cadre réglementaire harmonisé qui encourage la dissémination de produits, de services et de méthodes de production contribuant à la décarbonation et au développement durable. Le Luxembourg est représenté dans beaucoup d'instances internationales et continuera de soutenir un multilatéralisme renforcé et efficace. Pour défendre les intérêts du pays et des citoyens luxembourgeois, le détachement de nationaux dans les institutions internationales d'importance pour le pays et ses causes pourrait être systématiquement facilité et étendu.

²⁹⁷ Commissariat aux affaires maritimes, Conférence de presse, 16 août 2023, p.13

²⁹⁸ Conférence Beyond Growth (2023), Pathways towards Sustainable Prosperity in the EU

²⁹⁹ Commission européenne (2023), Sustainability and wellbeing at the heart of Europe's Open Strategic Autonomy, Strategic Foresight Report



#9

Assurer des **finances**
publiques soutenables et
solides

Pour sortir des énergies fossiles, il faut investir.³⁰⁰ « La transition climatique est une grande transformation, analogue par son ampleur aux révolutions industrielles du passé, que le retard pris dans la réduction des émissions et le nouveau contexte géopolitique commandent de conduire à un rythme accéléré. Dans les années qui viennent, elle va affecter la croissance, l'inflation, les finances publiques, la compétitivité, l'emploi et les inégalités. »³⁰¹

Ce sentiment est d'autant plus prégnant que la transition climatique devra s'opérer conjointement aux transitions énergétique, écologique, digitale et sociétale. D'un point de vue macro-économique, les transitions impliquent donc une augmentation substantielle des investissements, avec un fort enjeu d'équité. Les politiques publiques ont la capacité de réduire substantiellement les coûts que cela représente, en fixant des priorités et en allongeant l'horizon de planification financière dans un contexte de finances publiques sous pression.³⁰² L'innovation technologique et comportementale, l'efficacité et la sobriété, la circularité et l'utilisation accrue des ressources disponibles sur le territoire, la formation et les compétences, la redondance et le stockage stratégiques, le recours aux solutions basées sur la nature sont autant de principes mis en avant par la Vision ECO2050 pour contribuer à la maîtrise des coûts et des surprises et pour soutenir les efforts des entreprises et ménages insuffisamment solvables.

Différentes estimations des investissements nécessaires pour les transitions énergétique et climatique en 2050 ont été effectuées pour différents découpages géographiques. Le STATEC retient qu'en général, en UE, la transition énergétique nécessiterait des investissements à hauteur de **+2% du PIB** par an d'ici 2050.³⁰³ Alors que ces études sont exhaustives pour ce qui est des investissements énergétiques directs liés à la mitigation climatique (technologies), elles sont plus succinctes pour ceux des autres secteurs (agriculture, mobilité, industrie, bâtiments, déchets et surtout écosystèmes (puits carbone). Le périmètre des études n'est pas toujours clair ou comparable. Ainsi la Commission européenne additionne les coûts des transitions climatique, énergétique et industrielle, et considère que des investissements additionnels de plus de 620 milliards EUR par an seront nécessaires pour réaliser les objectifs du *Green Deal and RepowerEU304*, plus 92 milliards EUR d'ici à 2030 pour la mise en œuvre du NZIA.³⁰⁵

Les études se basent aussi sur les émissions territoriales et ignorent celles relevant des importations, de l'aviation et du fret maritime internationaux. Elles partent de l'hypothèse d'une continuité de l'approvisionnement en énergie et matériaux en quantité, qualité et prix favorables et d'une croissance économique forte (estimée par le STATEC à 5% en moyenne par an au Luxembourg, de 2023 à 2050, dans ses projections sur l'incidence macro-économique de la transition énergétique (2023). Or la neutralité carbone est globale par nature. Elle concerne toutes les émissions mondiales et actuellement la consommation globale d'énergie fossile continue de croître (Figure 7). La neutralité carbone dépend aussi de la séquestration naturelle dans les puits carbone (océan, forêts, sol). À cet égard, la *Energy Transitions Commission* estime que les coûts globaux pour éviter la déforestation dépasserait USD 130 milliards par an d'ici 2030.³⁰⁶

Les coûts relatifs à l'**adaptation climatique** se trouvent souvent ignorés ou sous-estimés. À la prévention et à l'adaptation des populations, de l'appareil productif, des infrastructures et des réseaux vitaux aux effets des perturbations résultant des crises environnementales s'ajoutent les coûts de réparation et de reconstruction en plus robuste des actifs physiques endommagés ou détruits, afin de réduire les futurs dommages économiques du réchauffement global. La somme de ces dépenses constitue le coût de l'inaction climatique.

300 "The world is not investing enough to meet its future energy needs; oil and gas investment is geared to a world of stagnant or falling demand, while transition-related spending is not rising nearly fast enough." Voir Laura Cozzi (2021), *World Energy Outlook 2021 and the Net Zero by 2050 Scenario*, présentation Agence Internationale de l'énergie à la conférence Luxembourg Stratégie du 15.11.21

301 Jean Pisani-Ferry et Selma Mahzouf (2022), *L'action climatique : un enjeu macro-économique*, France Stratégie

302 Contribution de la Chambre de commerce à l'avant-projet de mise à jour du PNEC 2021-2030, juin 2023

303 Tom Haas (2023), *Analyse des incidences macroéconomiques de la transition énergétique*, présentation STATEC, 6.7.2023

304 Commission européenne (2023), *Sustainability and wellbeing at the heart of Europe's Open Strategic Autonomy*, Strategic Foresight Report. REPower Europe, Règlement (UE) 2018/1999 sur la gouvernance de l'union de l'énergie et de l'action pour le climat

305 Anne Calteux (2023), *Interview* citant le dernier rapport « Strategic Foresight » de la Commission européenne publié en juillet 2023, FEDIL Echo 02.08.23

306 Energy Transitions Commission (2023), *Financing the transition: Costs of avoiding deforestation*, 19.4.2023

#9 Assurer des finances publiques soutenables et solides

Alors que tous s'accordent pour dire que le coût de l'inaction dépasse celui de l'action climatique³⁰⁷, les estimations des coûts de l'inaction varient grandement et augmentent sensiblement dans le temps depuis le *Stern Review en 2006*.³⁰⁸ En 2022 *Oxford Economics* a évalué le **coût de l'inaction climatique à 20% du PIB** à 2,2°C de réchauffement. Inutile de dire qu'au-delà d'un certain niveau de réchauffement, le coût est total, puisqu'il n'y a plus d'économie.³⁰⁹ Les impacts croissants des phénomènes météorologiques extrêmes entraînent déjà aujourd'hui de graves pertes économiques. P.ex., en UE, pour les sécheresses, celles-ci s'élèvent à environ 9 milliards d'euros par an et pour les crues fluviales à 7,6 milliards d'euros.³¹⁰ Et ceci sans tenir compte du coût additionnel de l'action ou de l'inaction en matière de biodiversité, autre pilier sur lequel repose l'habitabilité continue de la planète. À l'échelle mondiale et pour la période allant de 1997 à 2011, le coût lié à la perte de services écosystémiques se situe entre 3.500 et 18.500 milliards d'euros par an et celui lié à la dégradation des sols est estimé entre 5.500 et 10.500 milliards d'euros par an.³¹¹

L'encadré ci-contre donne quelques références de budgets avancés pour le **coût de l'action climatique**. A noter que l'étude Rifkin avait évalué le coût de la transition du Luxembourg à horizon 2050 à environ 2% du PIB. Côté recettes nouvelles, il est intéressant de noter que le revenu global de la taxe carbone a atteint un nouveau record en 2022 avec près de 100 milliards USD collectés.³¹²

Bien qu'il se trouve dans un contexte économique moins porteur que dans le passé et qu'il fasse face à une trajectoire ascendante de sa dette publique à moyen terme, le Luxembourg dispose de réserves financières qui lui permettraient **d'investir dans les transitions** et la **redondance** là où d'autres pays auraient plus de difficultés. Ces investissements pourraient d'ailleurs s'étendre à des projets transfrontaliers en matière de transitions (énergie, eau, infrastructures).

Afin de maintenir la confiance des investisseurs et du public, il s'agirait de proposer une programmation de long terme des finances publiques compatible avec l'atteinte des multiples objectifs de transitions. Des mesures complémentaires seraient à déterminer pour accroître les financements des transitions, en précisant les modalités d'accompagnement spécifique des entreprises et des ménages vulnérables afin d'assurer l'équité.

L'État dispose de plusieurs leviers pour soutenir des investissements de **transitions** : en investissant lui-même là où cela est nécessaire et en veillant à l'équité sociale. Les subventions et l'attribution de marchés publics peuvent être conditionnées au respect de critères extra-financiers. En constituant des **réserves financières stratégiques** et en orientant les investissements publics productifs vers les transitions et l'adaptation au changement climatique, l'État peut avoir un rôle d'entraînement de l'économie. La **BEI** et la **Bourse de Luxembourg** sont des partenaires indispensables du financement des transitions. Le recours aux partenariats public-privé permettrait également à l'État de jouer son rôle de **garant** en assumant une partie du risque d'investissement qui est particulièrement accru dans le contexte actuel des multiples transitions.

307 "Short-term costs of green transition always more than compensated by long-term benefits." Voir Carmelo Salleo (2021), ECB economy-wide climate stress test, présentation Banque centrale européenne à la [conférence Luxembourg Stratégie](#) du 15.11.22

308 The Economics of Climate Change: The Stern Review (2006). It put the costs of climate damage at 5% of GDP a year compared to the cost of mitigation at 1%.

309 "We find that 2.2°C of warming by 2050 has the potential to reduce global GDP levels by up to 20%. Warming of up to 5°C by 2100 would lead to economic annihilation, consistent with scientific research on mass extinction thresholds.", David Winter and Manuela Kiehl (2022), [The global economic costs of climate change inaction](#), Oxford Economics

310 Commission européenne (2023), [Sustainability and wellbeing at the heart of Europe's Open Strategic Autonomy](#), Strategic Foresight Report

311 Commission européenne (2020), [The business case for biodiversity](#), EU Green Deal, mai 2020

312 World Bank (2023), [State and trends of carbon pricing 2023](#)

Comparaison des coûts de l'action climatique

au niveau mondial : entre **2.300 et 9.000 milliards USD** par an d'investissements nécessaires (selon les estimations)³¹³

- **IPCC (2022) 'Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability'** : Les investissements nécessaires dans le secteur de l'électricité sont en moyenne de 2.300 milliards USD par an (prix 2015) entre 2023 et 2052 (soit 69.000 milliards USD pour 30 ans) pour respecter les trajectoires limitant le réchauffement climatique à 1,5°C.
- **IEA/UNCTAD** : 2.600 milliards USD par an sont nécessaires d'ici 2030 pour réaliser les ODD et rester sur la trajectoire *net zero* en 2050.³¹⁴
- **IEA, Net Zero Emissions scenario** : Les investissements dans l'énergie propre devraient dépasser 4.000 milliards USD d'ici 2030.³¹⁵
- **McKinsey (2022) 'Net zero transition'** : Les investissements cumulés dans les actifs physiques nécessaires pour atteindre zéro émission nette s'élèveraient à environ 275.000 milliards USD d'ici 2050, soit environ 9.000 milliards USD par an.
- **BloombergNEF (2023) 'Decarbonization: The long view, trends and transience'**³¹⁶ : 194.000 milliards USD devraient être concédés globalement entre 2022 – 2050 pour atteindre *net zero*, soit environ 7.000 milliards USD par an.

au niveau européen : entre **260 et 1.000 milliards EUR** par an (selon les estimations)

- **Commission européenne (citée dans le PNEC 2021-2030)** : 260 milliards EUR par an durant les dix prochaines années afin d'atteindre les objectifs de l'accord de Paris, soit environ 26 milliards EUR par an.
- **Cour des comptes européenne**³¹⁷ : la neutralité carbone à l'horizon 2050 dans l'EU-27 nécessiterait un investissement total (investissements en cours et supplémentaires) de l'ordre de 1.000 milliards EUR par an sur la période 2021-2050.

au niveau national : entre **1,0 et 1,4 milliards EUR** par an (selon les estimations)

- **FR – France Stratégie (2022) 'L'action climatique, un enjeu macro-économique'**³¹⁸ : les investissements dans la transition climatique représenteraient environ 2,5 points de PIB en 2030, soit 70 milliards EUR (prix 2021).
- **LU – Étude Rifkin 'Troisième Révolution Industrielle' (2016)** : 14 milliards EUR pendant 33 ans (2017-2050), soit 425 millions EUR par an) seraient nécessaires pour atteindre les objectifs d'efficacité énergétique et d'énergies renouvelables du scénario global d'innovation de l'étude TIR. Coût total pour TIR : 46 milliards, soit 1,4 milliards par an (environ 2% du PIB annuel, valeur 2021).
- **LU – MECDD (2023) Le plan national intégré en matière d'énergie et de climat 2023-2030 (PNEC mis à jour)** : Les investissements et dépenses supplémentaires dans la décarbonation (énergie, transports, bâtiments, industries) sont estimés à 8,3 milliards EUR pour 2023 – 2030, soit 1,0 milliard par an (environ 2% du PIB annuel).³¹⁹

313 En guise de comparaison, la crise financière est estimée avoir causé la perte de 2.000 milliards USD à l'économie mondiale entre le second trimestre de 2008 et le premier trimestre de 2009. Voir Renae Merle (2018), [A guide to the financial crisis – 10 years later](#), Washington Post.

314 "Estimates obtained by adding data from the United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD) and IEA, show that roughly \$2.6 trillion dollars is required annually through 2030 to meet the Sustainable Development Goals (SDGs) and stay on a path to a net-zero society by 2050", Daniel Zelikow and Fuat Savas (2022), [Mind the gap: Time to rethink infrastructure finance](#), World Bank Blogs

315 WEO 2022, IEA, 2022

316 Nat Bullard (2023), [Decarbonization: The long view, trends and transience, net zero](#)

317 Cour des Comptes Européenne (2023), [Climat et énergie : les objectifs de l'UE pour 2030 ont du plomb dans l'aile](#), rapport spécial 26 juin 2023

318 Jean Pisani-Ferry et Selma Mahzouf (2022), [L'action climatique : un enjeu macro-économique](#), France Stratégie

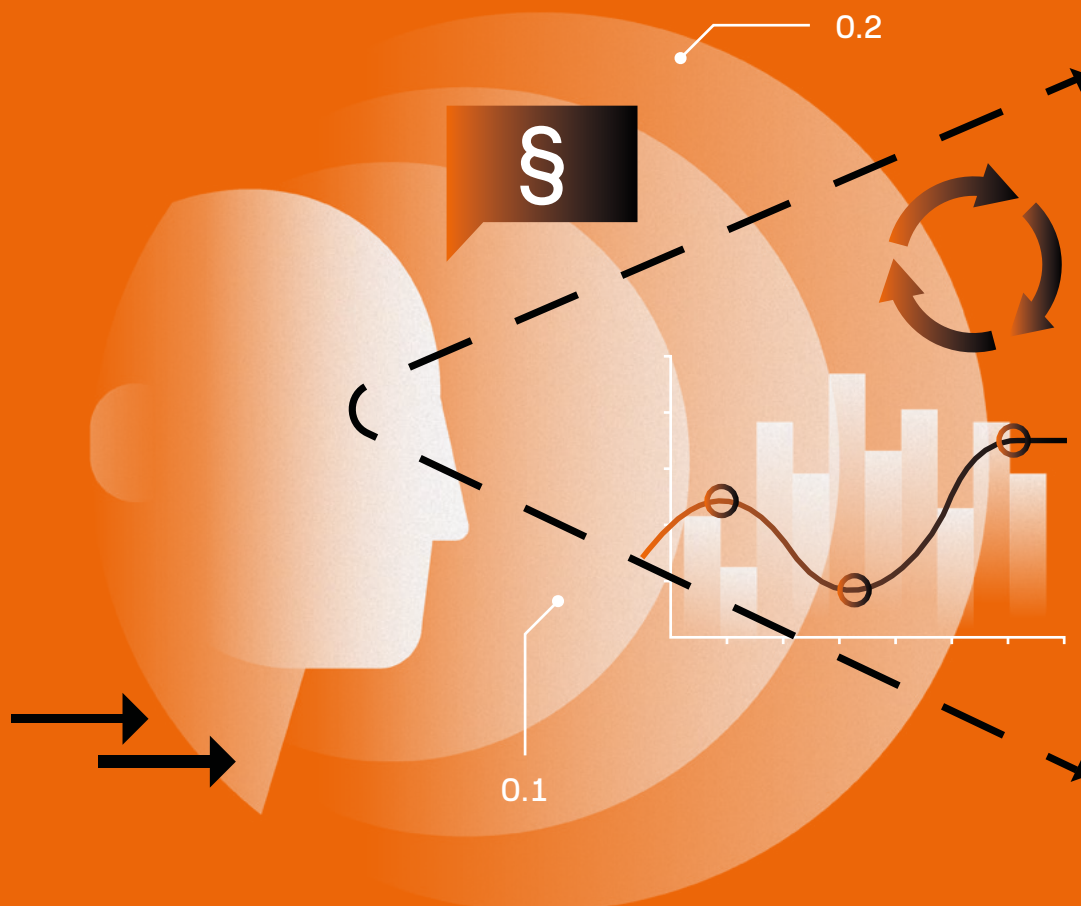
319 Tom Haas (2023), [Incidences macro-économiques de la transition énergétique](#), présentation STATEC, juillet 2023

#9 Assurer des finances publiques soutenables et solides

Pour orienter les comportements de production et de consommation, l'État pourrait faire évoluer la **fiscalité** en cohérence avec sa politique économique. En taxant p.ex. plus fortement les énergies fossiles (Étude Rifkin, 2016) et les biens et services non-essentiels à fortes empreintes environnementales ou encore l'investissement immobilier à visée strictement spéculative et en offrant des déductions fiscales pour les investissements dans les technologies bas-carbone et la décarbonation de l'industrie. Les recettes et dépenses liées aux transitions seraient incorporées dans les projections budgétaires à long terme. Les placements durables seraient promus pour les fonds de pensions. Les produits de pension complémentaires basés sur des classes d'actifs durables seraient offerts.

En promouvant ensuite l'usage des solutions de la finance durable et climatique pour décarboner l'économie et en modernisant la bonification d'**impôts** pour encourager les investissements de transition énergétique et écologique, l'État peut orienter efficacement l'investissement privé dans une direction encore durable. Il s'agirait également de manière complémentaire de mobiliser et d'orienter l'épargne nationale et de favoriser l'implantation ou la relocalisation d'activités économiques pouvant accélérer les transitions.

Compte tenu des investissements importants nécessaires et du besoin de stabilité dans un contexte de complexité et d'incertitude, il s'agit d'user de tous les leviers de la politique économique (fiscaux, financiers, réglementaires) et de mobiliser tous les acteurs pour progresser de manière coordonnée et résolue.



#10

Tourner l'**anticipation** en
avantage économique
comparatif

Se projeter dans l'avenir est un acte fondamentalement optimiste.

« La prospective est cette anticipation qui confère à l'organisation la résilience nécessaire à maintenir son activité au-delà de l'horizon du prévisible ».

Olivier Desjeux, Ateliers des futurs (2022).

Partant du constat que les approches traditionnelles d'élaboration de politiques publiques ne suffisent plus dans un environnement de grande complexité, incertitudes et changements rapides influencés par une variété de parties prenantes, souvent en dehors du secteur public, il apparaît comme souhaitable de généraliser l'anticipation innovatrice et la gestion des risques pour le service public.

La prospective stratégique aide à préparer et à répondre à des avènements qui demandent des approches de service public radicalement différentes. L'innovation anticipative désigne la capacité des organisations à percevoir, comprendre et agir de manière cohérente sur l'avenir tel qu'il émerge dans le présent. Le secteur public doit se préparer à ce qui va suivre, identifier, tester et mettre en œuvre en permanence des solutions innovantes pour tirer parti des opportunités futures tout en réduisant les risques grâce à une résilience accrue des systèmes publics.³²⁰

L'innovation anticipative vient en identifiant suffisamment à l'avance les vulnérabilités et les opportunités qui influenceront l'action publique. Les risques peuvent être traités avant qu'ils ne deviennent trop graves pour qu'un pays ou une région ne puisse plus les gérer seul. Personne n'aime être pris au dépourvu. Pour reprendre les mots de Jean Pisani Ferry, « plus les transitions seront précipitées, plus elles se traduiront par la dévalorisation brutale d'équipements, de compétences et de capital intangible. En allégeant l'horizon des acteurs privés par la planification des initiatives publiques, en soutenant l'adaptation des entreprises et la reconversion des compétences, les politiques publiques ont la capacité de réduire grandement les coûts de réallocation. »³²¹ En informant tôt les décisions d'investissements publics et privés par rapport aux secteurs, technologies, matières, métiers, partenaires, sites d'avenir, et en réduisant ainsi le risque de constituer des actifs échoués (*stranded assets*), les opportunités économiques peuvent être saisies au moment opportun et converties en affaires (reconversion, marché, substitution de matières, etc.).

Pour anticiper les risques, il convient d'instaurer une collaboration efficace entre les secteurs public et privé qui détiennent les informations utiles (niveau des stocks et réserves, incidents, menaces, vulnérabilités, mesures d'adaptation et de remédiation, tendances, etc.).

Pour construire un système d'alerte précoce, la prospective procède à l'inventaire et au suivi des mégatendances, à la détection d'angles morts (*blindspots*) et de signaux faibles non encore débattus publiquement (voir glossaire prospectif). Cette approche est complétée par une analyse des **coûts et bénéfices** à long terme d'une politique pour donner à voir les gains potentiels de l'action précoce ou les pertes potentielles liées à l'inaction. Un déficit de crédibilité est dommageable pour les transitions et coûteux pour l'économie. En adoptant une vision commune et confiante de l'avenir, les plans deviendront plus stables, les projets plus concrets, les investissements plus prévisibles. Les financements suivront.

L'expertise publique en prospective et la culture du risque se construisent de l'intérieur. Les observatoires thématiques nationaux – au nombre de 17 en 2023³²² – travailleront ensemble pour fournir aux décideurs un suivi sur mesure des mégatendances globales et leurs implications au Luxembourg et une identification précoce des signaux faibles. Leurs résultats seront combinés pour informer efficacement la décision politique. Une illustration du rôle de la prospective publique nous vient des stratégies nationales de cybersécurité et de cyberdéfense. Elles investissent dans la

320 Le projet OCDE OPSI Anticipatory Innovation Governance développe et teste de nouvelles approches et mène une recherche-action avec les gouvernements et les partenaires dans ce domaine émergent de la pratique de l'innovation anticipative.

321 Jean Pisani-Ferry et Selma Mahzouf (2022), L'action climatique : un enjeu macro-économique, France Stratégie

322 Cela inclut les observatoires de la Compétitivité, du Développement spatial, de l'Égalité, de l'Enfance, de la Jeunesse et de la Qualité scolaire, de l'Environnement naturel, de l'Emploi (RETEL), de la Fonction publique, de la Formation des Prix, de l'Habitat, de la Mobilité, des PME, de la Politique climatique, des Politiques sociales, de la Santé, du Travail et de la Cohésion sociale.

#10 Tourner l'anticipation en avantage économique comparatif

prospective pour réaliser une cartographie du paysage des “cyberfutures”.³²³ Une autre application possible des études de prospective sont les *technology forecasts* (voir Chapitre I.3 pour des applications prospectives et le glossaire prospectif).

Comment générer un point de vue nouveau et utile face à la quantité d'informations possibles et de sources disponibles mais sous-utilisées ? Le STATEC relève que la vaste majorité des entreprises (81%) n'analysent pas de mégadonnées, que ce soit pour des raisons d'insuffisance de ressources humaines, de connaissances et de compétences, de coûts d'opportunité en opposition à d'autres priorités, de doute dans l'utilité d'une telle analyse, dans la qualité des données ou le rapport coût/bénéfice de leur utilisation, ou de difficultés à se conformer aux lois sur la protection de la vie privée (24%).³²⁴ La prospective peut se faire assister par la digitalisation et les algorithmes pour mieux identifier, synthétiser et exploiter les ressources, pour mener des enquêtes nouvelles et des analyses plus fines, basées sur les métadonnées et le big data, pour renforcer la modélisation statistique ou pour visualiser les résultats (*advanced foresight*).

Les gouvernements et les entreprises qui anticipent se donnent les moyens d'avoir de meilleurs résultats. Sans capacité à se projeter, à s'adapter et à se transformer, toute entreprise risque de disparaître. Pour les entreprises, l'anticipation peut servir la réduction des émissions. Dans le secteur financier, les *first adopters* qui ont anticipé le *reporting* extra-financier, obligatoire au sein de l'UE depuis 10 ans, ont aujourd'hui un avantage comparatif pour adopter la nouvelle directive relative à la publication d'informations en matière de durabilité par les entreprises (CSRD). La CSRD consacre le principe de la **double matérialité**.³²⁵ En fonction de leur taille, secteur ou profil, les entreprises doivent ainsi rendre compte non seulement des risques financiers et physiques auxquels les changement environnementaux les exposent (effet “*outside in*”, du climat sur l'actif), mais aussi de l'incidence de leurs activités sur la population et l'environnement (effet “*inside out*”, de l'actif sur le climat). Les coûts de transactions sont plus élevés pour les sociétés qui ne l'avaient pas vu venir, que pour celles préparées qui avaient renforcé leurs capacités humaines, bases de données et systèmes informatiques pour y répondre. C'est une des raisons pour laquelle l'Association des Banques et Banquiers du Luxembourg (ABBL) appelle à créer un registre national des données non-financières des entreprises permettant l'évaluation des risques des banques, des assureurs et des fonds.

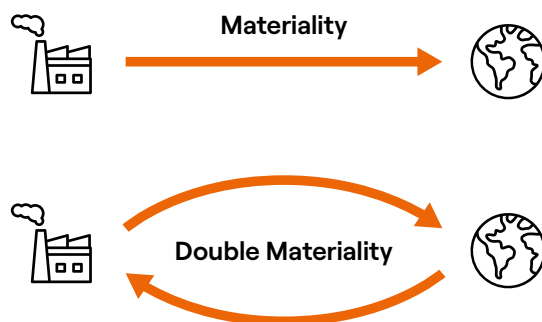


Figure 20. La double matérialité³²⁶

323 ME et al. (2021), 4^{ème} Stratégie nationale en matière de cybersécurité 2021-2025

324 STATEC (2022), Un portrait chiffré des entreprises au Luxembourg

325 Commission européenne (2022), Publication d'informations en matière de durabilité par les entreprises

326 Matthias Täger (2021), Double materiality: what is it and why does it matter?

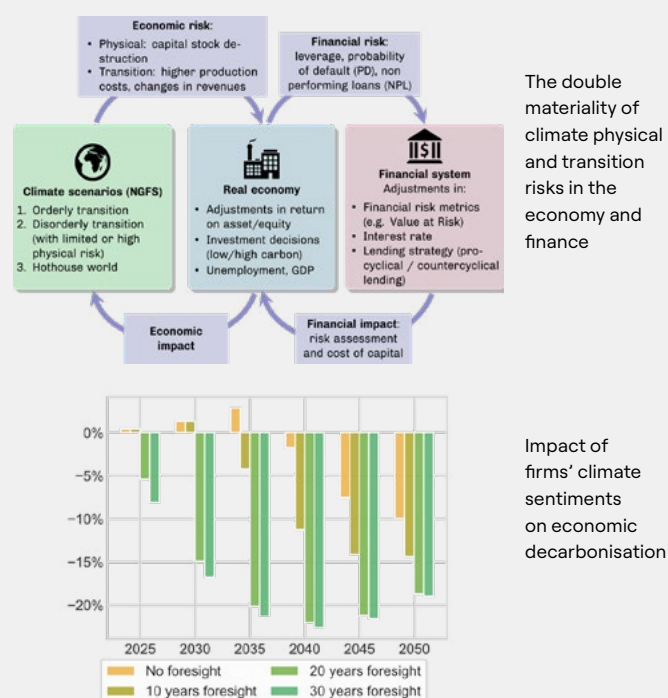
Planifier à long terme rend les choses simples. La recherche³²⁷ confirme l'importance d'une perception précoce des enjeux environnementaux par les entreprises pour réussir efficacement la transition climatique tout en maîtrisant son impact pour les risques physiques futurs. Une transition ordonnée et précoce vers la décarbonation permet ainsi d'accroître le dynamisme économique, tout en contribuant à limiter le réchauffement climatique. Inversement, une transition désordonnée et tardive augmente le risque d'actifs échoués et les risques de destruction d'actifs physiques. La perception d'une évolution coordonnée et claire de la fiscalité énergétique influence les décisions d'investissement. Il s'agit de reconnaître ici la nature singulièrement anticipative des risques environnementaux et l'importance d'un pilotage prospectif des politiques publiques et des investissements privés.

EXEMPLE : ANTICIPATION DANS LES SECTEURS ÉCONOMIQUE ET FINANCIER

Les investissements financiers sont par nature fondés sur l'anticipation des risques futurs. La vigueur de la place financière luxembourgeoise en dépend.

- Les transitions trop retardées présentent un **risque ayant une double matérialité** : (i) des dépréciations financières d'actifs et des destructions physiques d'actifs et (ii) une amplification du changement climatique par les activités éco-fin
- Le **guidage prospectif** signale clairement l'évolution de la régulation et des technologies d'avenir, permet d'orienter efficacement les investissements privés et de **rendre les bénéfices d'une transition ordonnée et précoce plus tangibles**
- Les entreprises fournissant des services financiers grâce à des solutions innovantes (FinTech) permettent d'améliorer la **collecte et l'interprétation des signaux faibles**
- Estimation des **coûts globaux de la décarbonation 2050** : 200 – 300 trillions USD, soit 9.000 Mrd. USD/an*
- PM : Estimation coût TIR (2017-2050), Luxembourg : 46 Mrd. EUR, soit 1,4 Mrd. EUR/an, soit env. 2% PIB

* McKinsey (2022), BloombergNEF (2023)



Source: Gourdel et al. (2022) The double materiality of climate physical and transition risks in the euro area, SUERF Policy brief n° 436, Oct. 2022

Aujourd'hui les banques centrales sont amenées à reconnaître le risque climatique comme un risque systémique pour la stabilité financière.³²⁸ En corollaire, de nouveaux produits sont proposés (fonds verts, *sustainability* ou *climate bonds*) et de nouvelles opportunités d'affaires voient le jour dans le domaine du conseil, de l'audit et du contentieux climatique.

327 Regis Gourdel et al. (2022), *The double materiality of climate physical and transition risks in the euro area*, SUERF Policy brief n° 436

328 Carmelo Salleo (2021), ECB economy-wide climate stress test, présentation Banque centrale européenne à la conférence Luxembourg Stratégie du 15.11.22

#10 Tourner l'anticipation en avantage économique comparatif

Dans un monde où tout va toujours plus vite, il s'agit de restaurer le long terme, et le lent terme. La planification donne de la prévisibilité et de la sécurité aux investissements, comme p.ex. via le PDAT qui réserve les surfaces à long terme. Un autre exemple de prise en compte du risque dans la planification publique à long terme est le plan national de gestion des risques d'inondation 2021-2027 du Luxembourg. Le plan vise à réduire les risques d'inondation et à sensibiliser le public aux dangers que les inondations représentent. Bien que les ZAE soient situées sur des sites *a priori* peu vulnérables, l'impact physique potentiel sur les infrastructures de transport et d'approvisionnement et sur certaines zones résidentielles aurait des répercussions notables sur les activités économiques. On estime ainsi qu'en termes de valeur d'actifs à risque au Luxembourg, les surfaces destinées à la production économique (zones industrielles et établissements de commerce) sont parmi les plus exposées.³²⁹

En temps d'incertitudes et de crises, il est prudent de disposer d'un plan B et de ne pas se contenter de préparer un avenir identique au passé. Il faut apprendre la résilience et intégrer par construction des chocs externes dans les plans pour l'avenir.³³⁰ En étant agile, confiant et stratégique, le Luxembourg aura tous les atouts nécessaires pour réussir une transformation rapide de son économie. L'avenir reste à être décidé et la suite ne dépend que de nous.

329 Voir Abbildung 43: Ermittelte spezifische Vermögenswerte für Luxemburg 2020 in €/m² aus der Schadenspotenzialstudie (2021) in MECDD (2023), Ébauche du Plan de gestion des risques d'inondation 2021-2027

330 Concept de "resilience as new policy compass". Voir Dimitri Lorenzani (2021), Strategic Foresight & the Resilience Dashboard, présentation Commission européenne à la conférence Luxembourg Stratégie du 15.11.21

I La méthode

II La vision

III Les scénarios

IV Les annexes

III. Les scénarios

1. Les scénarios construits à partir des
mégatendances et des bifurcations 148
2. Les scénarios en bref 149
3. Les scénarios comparés et déclinés
thématiquement 152
4. Les scénarios et les dilemmes associés 163

1. Les scénarios construits à partir des mégatendances et des bifurcations

Dans le cadre d'un processus prospectif ouvert coordonné par Luxembourg Stratégie entre 2022 et 2023 et en suivant la méthode prospective de scénarisation, trois scénarios et un cygne noir (intitulé « Reine rouge », voir [Annexe 2](#)) ont été développés pour l'économie luxembourgeoise en 2050. Les cygnes noirs ([voir glossaire](#)) étant par définition rares, improbable, extrêmes, la Reine rouge n'a pas été retenue comme base du développement de la Vision ECO2050. Elle figure tout de même en annexe au titre de l'exhaustivité méthodologique.

Ces trois scénarios décrivent des futurs possibles pour l'économie luxembourgeoise à l'horizon 2050. Il ne s'agit pas de prédictions et encore moins de manifestes politiques, mais plutôt de points limites de futurs plausibles qui pourraient être imposés au pays en raison du développement et de l'interaction des **mégatendances** (MT), ainsi que des **bifurcations** qui en résultent. Ces scénarios exploratoires ne sauraient représenter la complexité des débats prospectifs. En définissant les limites du plausible, on s'attend à ce que la réalité se situe quelque part entre les trois scénarios. Cela signifie que si nous révisons ultérieurement une politique et qu'elle s'avère robuste dans tous les scénarios, elle aura probablement une bonne résistance à l'épreuve du temps (*future-proof*).

En ce qui concerne le contenu des scénarios, il est clair que dans les trois scénarios, le **changement climatique** mondial aura lieu et l'humanité devra s'adapter à un monde plus chaud et affecté par des événements extrêmes, des vagues de chaleur aux inondations. En outre, la plupart des pays souhaitent faire évoluer simultanément leurs économies vers des systèmes de production décarbonés, ce qui risque d'aggraver les tensions géopolitiques si tous tentent de saisir en même temps des ressources limitées (p.ex. les réserves de lithium pour les batteries).

Le **modèle économique** mondial façonnera cette transition. Le premier à agir, sans que les autres ne changent, risque d'être perdant : la concurrence n'investira peut-être pas et continuera à vendre leurs produits les plus polluants à un prix inférieur. Les entreprises, p.ex. peuvent relocaliser leur production, ce qui change la localisation des émissions, mais pas leur impact au niveau global. D'où les questions suivantes : l'ordre **géopolitique** mondial permet-il à toutes les nations de changer leur modèle économique en même temps, ou est-ce que la transition est bloquée par les rivalités géopolitiques ? Ensuite, l'UE parviendra-t-elle à générer un changement de pouvoir **géoéconomique** grâce à une mise en œuvre réussie du Pacte vert européen ? La capacité de l'UE à agir à cet égard sera fortement affectée par les types de **gouvernance** émergents dans les autres pays européens (et au-delà). En effet, le populisme et l'extrémisme pourraient même constituer une menace existentielle pour l'UE. Ce populisme est, à son tour, motivé par une augmentation perçue des **inégalités** et une évolution des valeurs vers l'individualisme. Et si tout le reste échoue, les piliers jumeaux que sont la **digitalisation** et la **technologie** peuvent-ils apporter une transformation face à une concurrence géoéconomique acharnée ?

Ces forces déterminent la manière dont la **démographie**, le **travail** et le **savoir** se développent au Luxembourg.

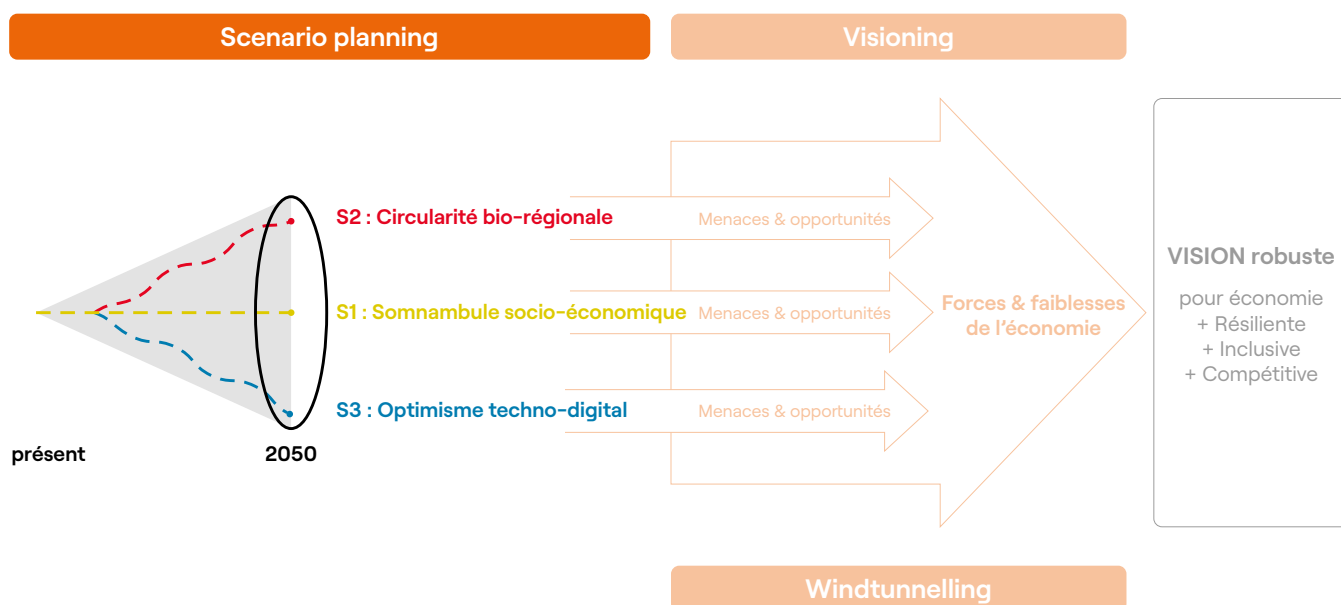


Figure 21. Le champ des futurs possibles couvert par les trois scénarios ECO2050

2. Les scénarios en bref

Les trois scénarios (S1, S2, S3) présentent systématiquement diverses directions que pourrait prendre le développement économique national dans les prochaines décennies. A titre indicatif et d'orientation, ils contiennent des données chiffrées (concernant la population, la production économique et le réchauffement climatique) qui tissent des liens avec d'autres scénarios importants (telles que les projections socioéconomiques du STATEC ou les trajectoires socioéconomiques partagées du GIEC). Ces données sont à lire avec précaution, car aucun chiffre ou combinaison de chiffres ni aucune moyenne figurant dans les énoncés des scénarios n'a pour ambition de refléter une projection exacte existante, un re-calcul ou une nouvelle estimation faite expressément pour cet exercice.

SCÉNARIO 1 (S1) : SOMNAMBULE SOCIO-ÉCONOMIQUE

Le scénario de la permanence des transitions

- Nous sommes en 2050, le Luxembourg compte environ 1,1 million d'habitants.
- Le Luxembourg attire toujours plus de salariés sans étancher sa soif de main d'œuvre qualifiée pour les transitions. Les embouteillages continuent et les transports publics et le logement sont sous pression. Les régimes de sécurité sociale et de pensions restent acquis mais sont fragiles et moins protecteurs qu'en 2022. La répartition des revenus et du patrimoine s'opère de manière inégalitaire.
- La digitalisation et les technologies plus sobres sont au service de l'économie qui vise la croissance quantitative (PIB de +2% à +3%/an), mais les gains d'efficacité sont rattrapés par l'augmentation de la demande. Avec des critères de RSE et une taxonomie UE peu crédibles, le centre financier ne parvient pas à se verdier.
- La complexification de nos systèmes se heurte à la fin de l'abondance des ressources et limite notre capacité d'agir. Nos sociétés et nos économies s'essouffent, elles manquent de talents pour les transitions digitale et verte, subissent une surcharge administrative, un trop-plein d'informations, un impératif de l'instantanéité, une augmentation des coûts de la vie, une pauvreté monétaire.
- L'UE tente de concilier transitions écologique et digitale, réindustrialisation et autonomie stratégiques. Le reste du monde ne suit que lentement. La Chine et la Russie se ferment à l'Occident. Le réchauffement dépasse les +2°C et peu a été investi dans l'adaptation. Les assurances croulent sous les demandes de remboursements des dommages climatiques. Les empreintes carbone, matérielle et écologique grimpent.
- La gouvernance est court-terme, les algorithmes interfèrent avec l'opinion publique. Grâce à ses moyens financiers, le Luxembourg conserve son modèle du compromis entre intérêts collectifs et individuels.

SCÉNARIO 2 (S2) : CIRCULARITÉ BIO-RÉGIONALE

Le scénario de la simplification sociale et territoriale

- Nous sommes en 2050, le Luxembourg compte environ 770.000 habitants.
- La croissance de la population et de l'économie ralentit, ce qui allège la pression sur le trafic et le logement, les systèmes de santé et d'éducation, l'environnement et l'eau. La pénurie de compétences manuelles et *low-tech* est résorbée par des vagues de formations techniques, la poly-activité combinant services et travaux manuels, en PME ou à domicile, devient la norme. Tout se rapproche et se simplifie.
- Les niveaux des salaires, des pensions et de la couverture sociale stagnent, après une profonde transformation du système, l'écart entre les plus riches et les plus pauvres s'estompe et le plus grand nombre vit bien avec moins et dans les limites de ses moyens.
- La digitalisation et les technologies sont au service du vivant, la place financière est « vert foncé », le mix énergétique est diversifié et décentralisé. Le fret aérien s'est réduit au profit du transport fluvial et par rail. Le dernier km est assuré par la cyclo-logistique urbaine.
- Puisque tous les pays agissent ensemble, avec l'UE parmi les leaders mondiaux, le réchauffement climatique ne dépasse pas +2°C. La réindustrialisation circulaire, la diversification énergétique et l'économie du partage en Grande Région visent une croissance qualitative mesurée par le PIBien-être bio-régional.
- L'adaptation aux extrêmes climatiques, à l'érosion de la biodiversité et à la raréfaction des ressources se fait par un programme populaire de réhabilitation environnementale et de réapprentissage artisanal et technique et des investissements dans les infrastructures vertes.
- Le Luxembourg recourt largement à la démocratie participative au sein d'une Grande Région où les collectivités territoriales ont plus de poids et au sein d'une UE plus petite et plus agile, connaissant moins de résistance interne, et qui devient leader mondial de la transition écologique.

SCÉNARIO 3 (S3) : OPTIMISME TECHNO-DIGITAL

Le scénario de l'innovation technologique sans changement comportemental

- Nous sommes en 2050, le Luxembourg compte environ 1,2 million d'habitants.
- Les marchés du logement et de l'emploi sont très précarisés. Bien que la construction soit standardisée et numérisée pour construire plus vite et réduire les coûts, les prix du logement repoussent les travailleurs au-delà des frontières, ce qui impacte positivement la Grande Région. Le système éducatif est entièrement digitalisé, privatisé, taillé sur l'individu et focalisé sur le numérique et la finance. La pénurie de compétences *high-tech* et digitale est résorbée par la virtualisation du marché du travail, avec des salariés partout dans le monde et, compte tenu des décalages horaires, un travail effectué à toutes heures.
- La poursuite de la croissance quantitative au niveau national (PIB de +3% à +4,5%/an) permet un relatif équilibre des caisses de pensions et de sécurité sociale et du budget central et des communes.
- La mondialisation continue de régir les relations internationales, et la concurrence entre pays, notamment pour l'accès aux ressources, est rude et parfois polarisante. Cela a des conséquences sur la gouvernance, avec une flambée des populismes qui affaiblissent l'UE. On cherche en conséquence à trouver des nouvelles solutions digitales à cette gouvernance privatisée, tel que l'emploi de l'IA.
- L'intensification technologique, financée par la place financière luxembourgeoise, est au service de l'efficience, au prix d'une plus grande surveillance et d'une exposition aux cyberattaques. De beaux progrès sont faits en *health tech* et l'espérance de vie de certains se rallonge. La digitalisation vise à dématérialiser, décarboner et réduire la dépendance vis-à-vis de la main-d'œuvre non-résidente qui reste importante.
- Le réchauffement dépasse +2°C. La géo-ingénierie et les infrastructures grises sont les moyens utilisés pour faire face au changement climatique, ce qui plombe les budgets. La géo-ingénierie n'ayant pas de gouvernance universelle et représentative, certains pays, et même des individus très riches, font cavalier seul, avec des effets secondaires souvent incertains et irréversibles ou néfastes pour d'autres pays et populations.

3. Les scénarios comparés et déclinés thématiquement

Le tableau ci-dessous présente le cadre des 12 mégatendances (Glossaire) et de leurs composantes thématiques qui ont façonné et qui continueront de façonner l'économie luxembourgeoise dans les prochaines décennies. Les trois scénarios (S1, S2, S3) se distinguent par la combinaison de différentes expressions ou bifurcations possibles (Glossaire) que pourrait prendre chacune des mégatendances (MT1-MT12). Le tableau caractérise et détaille chaque scénario par thème ou sous-secteur, de même qu'il rend visible les similitudes et les différences entre les scénarios. Chaque lecteur peut ainsi retrouver cette caractérisation et ces détails en fonction du thème ou sous-secteur qui le concerne ou l'intéresse.

BIFURCATIONS		SCÉNARIO 1 (S1) SOMNAMBULISME SOCIO-ÉCONOMIQUE	SCÉNARIO 2 (S2) CIRCULARITÉ BIO-RÉGIONALE	SCÉNARIO 3 (S3) OPTIMISME TECHNO-DIGITAL
MT 1	POPULATION AU LUXEMBOURG ET EN GRANDE RÉGION	Une forte croissance de la population résidente (1,1 million) et frontalière	Une faible croissance de la population résidente (770.000) et frontalière	Une forte croissance de la population résidente (1,2 million) et frontalière
	A) ORGANISATION TERRITORIALE	Éparpillement et étalement urbains avec fortes mobilité motorisée individuelle et consommation foncière. Homogénéisation paysagère et banalisation urbanistique.	Développement urbain dense et rural ciblé, mixte et multifonctionnel, réduisant la mobilité motorisée individuelle et la consommation foncière (ville de 15 minutes, rapprochement travail et logement). Diversification paysagère.	Urbanisation hyperdense, spécialisation spatiale pour contenir la consommation foncière et la saturation de l'espace. Télétravail généralisé pour diminuer les déplacements. Fin du « paysage ».
	B) VIEILLISSEMENT	Les immigrés rajeunissent la population, stagnation de l'espérance de vie.	La population vieillit dans un premier temps et se rétrécit.	Les immigrés rajeunissent la population.
	C) DISCRIMINATION INTERSECTIONNELLE (GENRE, ETHNIE, HANDICAP, RELIGION)	On vise l'égalité de toutes et de tous sans y parvenir complètement.	Les attentes culturelles changent. Le travail non rémunéré est aussi valorisé. Nouvelle distribution des tâches, en fonction de l'intensité physique du travail.	Indifférenciation : il est simple de changer de genre, le trans-humanisme s'affirme et l'intermariage des ethnies rend les distinctions toujours plus difficiles.
	D) MIGRATION EN EUROPE	Des pays du Sud/pauvres vers les pays du Nord/riches.	Toutes les directions : aussi Nord vers le Sud, là où la situation des ressources ou le climat sont les meilleurs.	Des pays du Sud vers le Nord et début de présence humaine permanente dans l'espace.
MT 2	NATURE DES INÉGALITÉS SOCIALES	Déséquilibre du logement, des pensions et sécurité sociale	Déséquilibre majeur des pensions et sécurité sociale. Équilibre du logement	Déséquilibre du logement. Équilibre des pensions et sécurité sociale
	A) ACCÈS AU LOGEMENT	Une forte pression sur les prix du logement engendrant de fortes inégalités d'accès au logement. Les héritiers de patrimoine immobilier sont avantagés.	Le problème d'accès au logement se résout peu à peu.	Une pression au niveau de la demande et des prix du logement engendre de fortes inégalités d'accès.

BIFURCATIONS			
	SCÉNARIO 1 (S1) SOMNAMBULISME SOCIO-ÉCONOMIQUE	SCÉNARIO 2 (S2) CIRCULARITÉ BIO-RÉGIONALE	SCÉNARIO 3 (S3) OPTIMISME TECHNO-DIGITAL
B) SÉCURITÉ SOCIALE ET PENSIONS	Le déséquilibre des régimes de sécurité sociale et des pensions est mitigé par des réformes (augmentation des cotisations) et par la continuation de l'augmentation démographique, mais le système est moins protecteur qu'en 2020.	Déséquilibre des régimes de sécurité sociale et pensions résultant en une baisse du niveau de prestations. Il manque temporairement de jeunes cotisants, mais le nombre de bénéficiaires est à terme moindre aussi.	Les croissances démographique et économique au Luxembourg et l'augmentation de l'âge du départ en retraite amoindrissent le déséquilibre des régimes de sécurité sociale et pensions, permettant un maintien du niveau de prestations.
C) SALAIRES ET GINI	Les salaires réels augmentent lentement pour essayer d'attirer des employés (il y a un problème de <i>turnover</i> rapide). Le coefficient de Gini reste relativement stable.	Les salaires réels stagnent, la consommation et les recettes fiscales baissent. Les écarts entre les plus riches et les plus pauvres se nivellent, avec une revalorisation pour les travailleurs manuels et artisanaux. Le coefficient de Gini baisse.	Les salaires réels augmentent dans les professions financières et techno-numériques, mais l'automation et l'offshoring sont des menaces pour d'autres employés moins spécialisés. Le coefficient de Gini monte.
D) AUTRES INÉGALITÉS	Les jeunes se sentent mal à l'aise : ils paient les retraites et cotisations, mais bénéficient de peu de perspectives de sécurité sociale et ont du mal à se loger et à trouver des emplois en adéquation avec leurs compétences et aspirations.	Baisse de la pauvreté, mais difficultés pour les seniors (au moins, ceux qui ne peuvent plus travailler) vu la pression sur les retraites. Transmission de savoirs entre jeunes et personnes âgées.	Il y a une fracture numérique avec le risque d'exclusion des pauvres, des personnes âgées et moins éduquées.
MT 3 MUTATION DU MARCHÉ DE L'EMPLOI	Marché compétitif en expansion, pour des emplois individualisés	Marché en contraction, pour des poly-emplois flexibles et collaboratifs	Marché <i>outsourcé</i> , pour des emplois digitalisés, hyperflexibles, mais précaires
A) TYPES DE TRAVAIL	Manque de forces de travail et inadéquation des compétences pour mener les transitions, ce qui fragilise les jeunes entrants sur le marché du travail. On recherche toujours la meilleure offre. Le phénomène du <i>quitting</i> est répandu et la précarité aussi. Fort <i>turnover</i> des employés. Recrutement au Luxembourg et en Grande Région.	On est attiré par un nouveau modèle offrant qualité de vie, sens du travail et flexibilité en termes de temps de travail et types de contrats (poly-activités entre saisons, métiers, lieux). Pénurie temporaire de main-d'œuvre résidente qualifiée pour le circulaire, manuel, technique. Travail en équipe physique/collaborative.	Les contrats de mission court-terme, internationalisés, virtualisés voire ubérisés, remplacent les contrats traditionnels, résidentiels, de long-terme. Travail en solo ou en équipe virtuelle. Recrutement globalisé. Une UE fragmentée alourdit la libre circulation physique des travailleurs en Grande Région.
B) TRAVAIL À DISTANCE	Le travail à distance est limité à quelques types d'emplois et en nombre de jours. Les impôts sont payés au Luxembourg.	Les travailleurs des pays voisins ne sont plus considérés comme frontaliers au sein de la Grande-Région élargie et travaillent davantage à domicile. Le travail hybride se généralise.	Le travail à distance augmente et les tâches sont souvent <i>outsourcées</i> aux prestataires <i>online</i> dont le travail est moins coûteux et qui résident hors de la Grande Région, partout dans le monde. Des résidents très spécialisés travaillent pour des entreprises lointaines sans changer de domicile (mais certains impôts sont payés dans le pays de l'entreprise). Généralisation du paiement des impôts et cotisations sociales au siège de l'employeur.

BIFURCATIONS		SCÉNARIO 1 (S1) SOMNAMBULISME SOCIO-ÉCONOMIQUE	SCÉNARIO 2 (S2) CIRCULARITÉ BIO-RÉGIONALE	SCÉNARIO 3 (S3) OPTIMISME TECHNO-DIGITAL
C) STRATÉGIE DES EMPLOYEURS		La demande dépasse l'offre de main-d'œuvre. Pour les employeurs, les difficultés pour trouver et retenir le personnel qualifié sont partiellement résolues par le retour au travail de retraités, la digitalisation ou l'augmentation des salaires. Mix PME, grandes entreprises, <i>start-ups</i> et <i>scale-ups</i> .	En bout de course, la demande rencontre l'offre, après avoir réussi à absorber la pénurie de main-d'œuvre qualifiée, en particulier dans l'artisanat (construction durable et circulaire) et le secteur financier (finance verte). Principalement des PME, coopératives, entreprises à mission sociale et <i>start-ups</i> transfrontalières. Participation des salariés au bénéfice de leurs entreprises.	La demande est étanchée par le recrutement virtuel de cerveaux globalisés. Les employeurs automatisent tout ce qu'ils peuvent – les caisses et guichets, l'e-commerce, les démarches administratives. Mix grandes entreprises internationales et nationales et <i>start-ups</i> et <i>scale-ups</i> .
MT 4	INNOVATION DANS LE SYSTÈME ÉDUCATIF	Système traditionnel avec plus de technologie	Système perméable et mixte (travail / éducation)	Système très digitalisé et individualisé
	A) DEGRÉ D'INNOVATION	Un système éducatif basé sur les méthodes d'enseignement traditionnelles avec une offre diversifiée de programmes, d'écoles internationales, de modes d'apprentissage et un taux élevé de diplômés de l'enseignement supérieur. Recours à de nouveaux supports digitaux et technologiques.	Un système éducatif caractérisé par une forte perméabilité entre le travail et l'éducation favorisant le <i>life-long-learning</i> , avec une alternance programmée entre périodes d'études et de travail ou mixtes et de l'apprentissage technique, pratique et manuel, sur le tas.	Un système éducatif adapté aux besoins du secteur privé et très individualisé grâce à la digitalisation. L'éducation digitale et souvent à distance, la recherche et la formation universitaire sont privatisées dans le but de mieux les adapter aux besoins du marché de l'emploi.
	B) PRIORITÉS D'ENSEIGNEMENT	Focus sur les matières économiques, digitales, financières et sur les soins (le <i>care</i>). L'artisanat est moins valorisé. Distinction entre régimes germano- et francophone.	Focus sur les matières biophysiques, sociales, artistiques et artisanales. L'ingénierie écologique et alimentaire et la finance « vert foncé » sont valorisées. Multilinguisme.	Focus sur l'ingénierie numérique, la programmation informatique, la haute technologie et la finance. Le multilinguisme est assuré par les algorithmes.
MT 5	USAGE DE LA DIGITALISATION	Centrée sur l'économie	Centrée sur l'humain	Une fin en soi
	A) USAGE	La digitalisation inclut tous les acteurs nationaux, régionaux et globaux, soutenant les PME et les <i>start-ups</i> .	Digitalisation ciblée et justifiée. Rejet des technologies intensives en émissions de CO ₂ eq. et en ressources. Application aux <i>low-tech</i> .	Acceptation aveugle et application généralisée par défaut. La digitalisation est une industrie à part entière. Digitalisation des connaissances du monde. Espoir en une IA globale de plus en plus puissante.
	B) IMPACT	Favorise la création d'emplois. Permet des gains en efficience dans la production, mais peine à réduire la bureaucratie. Rattrapage par l'effet rebond.	À la fois disruptif et vertueux. La digitalisation se focalise sur la réduction des nuisances, déchets et pénibilités, ce qui fait que des ateliers se réinstallent en ville, réduisant les distances travail-logement et donc le trafic.	Favorise la création de plus-value économique et monétaire et les grandes plateformes virtuelles internationales. Le changement climatique augmente le coûts énergétiques de la digitalisation.

BIFURCATIONS		SCÉNARIO 1 (S1) SOMNAMBULISME SOCIO-ÉCONOMIQUE	SCÉNARIO 2 (S2) CIRCULARITÉ BIO-RÉGIONALE	SCÉNARIO 3 (S3) OPTIMISME TECHNO-DIGITAL
C) DONNÉES		Les données sont réglementées au niveau national et européen, ce qui n'empêche pas une mainmise sur la vie des citoyens et entreprises. La RGPD étouffe l'esprit entrepreneurial.	Interdiction de la commercialisation des données personnelles.	Les données sont aux mains des plateformes. Forte exposition aux cyberattaques. Une seule RGPD globalisée (<i>level playing field</i>).
MT 6	ÉNERGIE & TECHNOLOGIE : APPLICATION ET CONSÉQUENCES	On veut du plus propre, mais les effets rebond sont nombreux	Mix de sources et de technologies bas-carbone et <i>low-tech</i>	La technologie est vue comme étant <i>la solution</i>
	A) TECHNOLOGIES D'ATTÉNUATION (LIMITATION) DU CHANGEMENT CLIMATIQUE	Les technologies sont centrées sur l'efficacité.	Les évolutions technologiques sont centrées sur la protection du vivant et la sobriété.	La technologie annonce avoir une solution miracle (<i>silver bullet</i>) : le <i>geoengineering</i> , un nouveau marché stratégique stimulé par la hausse du prix de tonne CO ₂ eq.
	B) TECHNOLOGIES D'ADAPTATION AUX EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE	L'adaptation n'est pas une priorité. Les inondations et sécheresses pèsent sur le PIB.	Atténuation et adaptation climatiques vont de pair. On mise sur la prévention des dégâts et les infrastructures vertes, créatrices d'emplois.	L'adaptation n'est pas une priorité. On mise sur les infrastructures grises. Les peuplements et infrastructures à risque sont relocalisées.
	C) ATTITUDE DES CITOYENS VIS-À-VIS DE LA TECHNOLOGIE	Les gains d'efficacité sont rattrapés par l'augmentation de la demande et l'effet rebond.	On mobilise autant les technologies que les comportements et les écosystèmes (infrastructures vertes). <i>Low-tech</i> intensif en main-d'œuvre.	On croit qu'un changement de comportement n'est pas nécessaire. Confiance absolue dans la technologie. <i>High-tech</i> intensif en capital.
	D) ÉNERGIE ET ÉLECTRIFICATION	Une électricité de plus en plus « verte » pour certaines applications. Le réseau est centralisé et connecté entre les pays, la production est libéralisée. La part des énergies fossiles diminue mais pas aussi massivement et rapidement que voulu, en partie à cause de pénuries de certaines matières premières (lithium, etc.). H ₂ vert reste rare et cher.	Mix énergétique décarboné et diversifié, combinant centralisation et interconnexion supranationale et décentralisation avec autoproduction locale. L'efficacité énergétique, la réduction de la demande en énergie, de gros investissements publics dans toutes les énergies décarbonées et dans le stockage inter-saisonnier et intra-jour et la stabilisation du réseau permettent une transition énergétique plus rapide qu'attendu.	On va vers de nouvelles sources d'énergie décarbonée : des innovations dans le domaine nucléaire permettent une augmentation de la consommation électrique, avec le maintien et renforcement d'un réseau centralisé. Approfondissement de la libéralisation du marché. Le captage et la réutilisation chimique du CO ₂ prolonge la vie des énergies fossiles.
MT 7	GLOBALISATION ET DÉPLACEMENT DE LA PRODUCTION	Dé-globalisation et <i>friendshoring</i>	Modèle mondial réinventé : <i>nearshoring</i> et <i>onshoring</i>	Mondialisation et laisser faire le marché : <i>offshoring</i>
	A) STRATÉGIE UE	Une stratégie industrielle visant l'autonomie et la réindustrialisation stratégique de l'UE.	Un fort cadre réglementaire au niveau européen. Les industries stratégiques sont relocalisées, les matériaux proviennent de la bio-région proche.	Le cadre réglementaire européen est réduit au strict minimum. La stratégie industrielle des pays membres est basée sur l'innovation et la mondialisation.

		SCÉNARIO 1 (S1) SOMNAMBULISME SOCIO-ÉCONOMIQUE	SCÉNARIO 2 (S2) CIRCULARITÉ BIO-RÉGIONALE	SCÉNARIO 3 (S3) OPTIMISME TECHNO-DIGITAL
BIFURCATIONS				
B) SECTEURS PRIORITAIRES EN EUROPE		On favorise la digitalisation, la décarbonation, l'électrification, l'essor des énergies renouvelables et de l'hydrogène.	On favorise l'agriculture locale, la production régionale et artisanale, les services, l'énergie et la valorisation des déchets au niveau local ainsi que l'économie circulaire.	Pas de priorités. Le principe est de « laisser faire le marché ».
C) CHAÎNES D'APPROVISIONNEMENT		On favorise le <i>friendshoring</i> au sein de l'UE et avec des « pays amis ». La Chine se ferme.	On favorise le <i>nearshoring</i> au sein d'une Grande Région élargie.	On favorise l' <i>offshoring</i> pour comprimer les coûts économiques.
D) AIDE AU DÉVELOPPEMENT		Reste égale à 1% du RNB.	Baisse. Le RNB n'est plus mesuré et il y a moins d'argent disponible. APD se fait moins financièrement et plus en échange de bonnes pratiques techniques et stratégiques.	Remplacée par de l'aide liée au commerce (<i>aid through trade</i>).
MT 8	CHANGEMENT CLIMATIQUE ET PERTE DE BIODIVERSITÉ	Continus	Ralentis	Amplifiés
	A) IMPACT CLIMATIQUE	L'empreinte carbone et la vulnérabilité climatique grimpent. +2,7°C en 2100 (GIEC SSP2 – <i>Middle of the road</i> , voir Annexe 3).	La tendance globale ralentit, mais ne s'inverse pas. Les efforts au niveau local ont un impact positif limité. +/- 1,8°C en 2100 (GIEC SSP1 – <i>Sustainability</i> , voir Annexe 3).	L'empreinte carbone et la vulnérabilité climatique grimpent. Forte exposition aux effets combinés des crises environnementales. On tente de contrer cela par la geo-ingénierie, l'industrie de la décarbonation, la relocalisation. +3°C en 2100 (GIEC SSP4 – <i>Inequality</i> , voir Annexe 3)
	B) BIODIVERSITÉ	Il y a d'importantes pertes de biodiversité globalement. En Europe, on cherche à mettre un prix sur la valeur des services naturels (eau propre, etc.) pour limiter la casse.	La perte de la biodiversité ralentit, mais ne s'inverse pas au niveau global. En Europe, les plans de réhabilitation et ré-ensauvagement respectent les frontières naturelles (bio-région) et non plus nationales.	La biodiversité est préservée au niveau mondial uniquement dans les endroits ou parcs où elle sert les intérêts économique et touristique. En Europe la concurrence entre pays mine les mesures transnationales.
MT 9	SYSTÈME ÉCONOMIQUE	Traditionnel / Croissance quantitative / Compétition	Durable / Croissance qualitative / Coopération	Darwinien / Croissance quantitative / Concurrence
	A) MODÈLE ÉCONOMIQUE	Modèle capitaliste traditionnel au niveau global, même si l'UE cherche à le modifier en son sein. « On cherche à faire autant, avec moins, pour plus de monde. »	Modèle écolonomique respectant les ODD et visant la résilience. « On cherche à faire moins et mieux, avec moins, pour moins de monde. »	Modèle économique darwinien marqué par une forte polarisation économique entre les pays au niveau mondial. « On cherche à faire plus, avec moins, pour un nombre réduit de privilégiés. »
	B) CROISSANCE	Croissance quantitative avec un PIB évoluant en moyenne entre +2 et +3%/an. Exposition aux effets combinés des crises environnementales (voir n°9 plus haut).	Croissance qualitative. Le PIB est remplacé par le PIBien-être. Exposition moindre aux effets combinés des crises environnementales.	Croissance quantitative et le PIB poursuit une hausse moyenne entre +3 et +4,5%/an. Forte exposition aux effets combinés des crises environnementales (voir n°9 plus haut).

BIFURCATIONS	SCÉNARIO 1 (S1) SOMNAMBULISME SOCIO-ÉCONOMIQUE	SCÉNARIO 2 (S2) CIRCULARITÉ BIO-RÉGIONALE	SCÉNARIO 3 (S3) OPTIMISME TECHNO-DIGITAL
C) COMMERCE INTERNATIONAL	Focus sur le marché intérieur, protégé par un mécanisme européen d'ajustement carbone aux frontières.	Des mesures protectionnistes pour les biens et services stratégiques et vitaux. Focus sur le marché régional.	Libre échangeisme là où la géopolitique et les crises environnementales le permet. Focus sur l'exportation.
D) FISCALITÉ	Une continuation de la politique d'endettement des États. Il y a une faible progressivité des impôts avec une forte imposition du travail et une faible imposition du capital et des ressources. La place financière reste attractive sur le plan fiscal (fonds, titrisation, holdings, private equity, etc.). Le Luxembourg reste exposé au défi de l'harmonisation fiscale et réglementaire communautaire et internationale pour maintenir ses recettes budgétaires.	Une fiscalité de plus en plus européenne pour les États membres. Il y a une imposition forte sur les comportements nocifs pour l'environnement, sur la surconsommation de biens non-essentiels, d'énergie et de ressources (tarification progressive) et sur les hauts revenus. La place financière reste attractive sur le plan fiscal (fonds verts et sociaux). Un cadre fiscal incitatif pour attirer des nouvelles activités et investissements verts et publics est créé.	Une diminution de la dette en limitant le rôle et les dépenses de l'État. On revoit les taxes surtout pour capter un maximum de recettes sur les services digitaux, les données électroniques les robots, ce qui risque de faire fuir les multinationales technologiques. Augmentation des recettes fiscales sur la consommation, le secteur immobilier. Régime fiscal attractif pour les salariés hautement qualifiés et spécialisés.
E) SECTEUR FINANCIER	Le secteur ne réussit pas à se verdier. RSE, la taxonomie UE verte et les règles H ₂ vert sont insuffisantes. Les assurances croulent sous les remboursements des dommages climatiques.	Les banques et la Bourse mobilisent massivement des investissements verts. Les assurances saisissent de nouvelles opportunités telles que les garanties et responsabilités de produits réparés/recyclés.	Les marchés financiers sont dérégulés. On utilise l'IA pour mieux calculer et anticiper les risques de dommages et de réputation. Investissements dans la géo-ingénierie.
F) LOGISTIQUE ET SUPPLY CHAIN MANAGEMENT	L'UE instaure un régime de compensation carbone obligatoire (intégrée au prix) applicable à tous les trajets du fret. Les flux de paiements et des données sont digitalisés.	Une diminution du fret longue distance en raison d'une moindre dépendance des produits venant de l'étranger. Fort développement du ferroutage et fluvial et de la cyclo-logistique urbaine dans les villes de 15'.	Les flux et stocks sont digitalisés et optimisés pour limiter les pertes et voyages à vide, gagner en efficacité et minimiser les besoins en ressources. Les gains sont relativisés par la croissance des volumes transportés et par la concurrence entre hubs logistiques en Grande Région.
G) MOBILITÉ	Il y a une meilleure coordination dans la Grande Région pour la construction de nouvelles infrastructures, mais la congestion demeure, vu l'augmentation des usagers. On promeut les transports en commun aussi transfrontaliers. L'UE interdit la construction de nouvelles voitures à moteurs thermiques.	La construction de nouvelles routes est interdite. Le trafic routier en Grande Région se détend avec le développement des villes de 15' et le ralentissement démographique. Le réseau de transport public transrégional couvre l'ensemble du territoire grand-régional et est plus performant que la mobilité individuelle carbonée, qui est strictement régulée.	Le transport individuel s'est électrifié, ce qui ne règle pas les embouteillages et les besoins matériels. Les transports collectifs sont optimisés grâce à la numérisation et les véhicules autonomes se démocratisent. Mais la coordination dans la Grande Région est difficile. Une minorité s'offre une mobilité individuelle de loisir.
H) ESPACE	Une démocratisation de l'accès à l'espace attire beaucoup plus de pays et d'opérateurs économiques privés. Mais il y a aussi toujours plus de déchets en orbite. Une minorité s'offre des voyages dans l'espace.	Les États européens coordonnent leurs activités spatiales pour éviter des duplications d'efforts et limiter les missions spatiales. La priorité est l'observation terrestre et le recyclage des déchets en orbite.	Les accords internationaux précisent ce qui est permis et les entreprises privées dominent la filière. Le <i>space mining</i> en est une partie intégrante de l'économie. L'espace est un terrain de jeu pour les riches.

BIFURCATIONS	SCÉNARIO 1 (S1) SOMNAMBULISME SOCIO-ÉCONOMIQUE	SCÉNARIO 2 (S2) CIRCULARITÉ BIO-RÉGIONALE	SCÉNARIO 3 (S3) OPTIMISME TECHNO-DIGITAL
I) CONCEPTION DES PRODUITS	Renforcement du concept de responsabilité du producteur/importateur dans le but de réduire, voire d'interdire les produits à usage unique et les emballages sur le territoire de l'UE. Les données sur les propriétés circulaires des produits sont digitalisées, standardisées et centralisées, selon le format PCDS luxembourgeois, qui devient la norme UE.	Interdiction européenne de l'obsolescence programmée, de la pub et du <i>green washing</i> . Il y a une réduction du nombre de labels. Les produits sont moins nombreux et repensés pour être plus robustes, réparables, partageables et durables. En fin de vie, on composte ou recycle.	À l'aide de la numérisation, la conception est très flexible, modulable et peu gourmande en ressources, qui sont chères et parfois indisponibles. Quand c'est possible, on substitue des matériaux. On recycle un maximum de déchets pour obtenir plus de ressources, mais c'est très intense en énergie et rencontre des limites physiques (<i>nano</i> et <i>composite materials</i> , etc.).
J) COMPORTEMENT DU CONSOMMATEUR	Sous l'effet du digital, la recherche de « gratification instantanée » et de « <i>no-effort-high-dopamine</i> » dominant. Le bio et la RSE sont perçus comme étant une lubie des classes aisées, un luxe que les moins bien lotis disent ne pas pouvoir se payer. La vente au détail est de plus en plus aux mains des chaînes internationales et concentrée en périphérie des centres urbains.	Le comportement a changé et le temps ralentit, sous la prise de conscience environnementale et la pression sociale. L'économie du partage est bien entrée dans les mœurs et la sobriété est une valeur sociale. Les marchés locaux deviennent des centres non seulement de commerce, mais aussi de rencontre et d'échange politique (« agora »).	On consomme plus et plus vite pour autant qu'il y ait suffisamment de ressources – la technologie nous permet de faire plus avec moins. Le changement de comportement n'est pas d'actualité. La différence c'est la distribution : l'essor des plateformes d'e-commerce et des livraisons à domicile a un impact négatif sur les commerces locaux, mais positif sur les recettes fiscales.
K) CONSTRUCTION	On peine à freiner l'artificialisation du sol et la destruction de patrimoine. Le bois est valorisé localement, en tant que bois d'œuvre et d'industrie (p.ex. construction de maisons, parqueterie, meubles de valeur). Cela étant, la mauvaise santé des forêts freine l'essor. La construction dépend aussi fortement de la main-d'œuvre étrangère et du ciment.	La construction connaît un ralentissement avec le virage vers un modèle circulaire, sans prise de nouvelle terre et préservant le patrimoine construit. La pénurie de main-d'œuvre qualifiée est résorbée par un programme de valorisation des aînés et de formation des jeunes. Le ciment est remplacé par la terre, les pierres, le bois à partir de forêts saines.	La densification et verticalisation à l'extrême permettent de freiner l'artificialisation du sol. Les bâtiments sont homogénéisés (modules standardisés préfabriqués) et « numérisés » pour réduire les coûts économiques et les ressources, ce qui permet de construire plus mais aussi de mieux surveiller les occupants. Les matériaux sont principalement importés.

BIFURCATIONS	SCÉNARIO 1 (S1) SOMNAMBULISME SOCIO-ÉCONOMIQUE	SCÉNARIO 2 (S2) CIRCULARITÉ BIO-RÉGIONALE	SCÉNARIO 3 (S3) OPTIMISME TECHNO-DIGITAL
L) INDUSTRIE	La transition digitale et écologique est lente et chère. Elle implique une réflexion fondamentale sur le <i>business model</i> . La transition écologique s'accompagne de surcoûts et de surréglementation, ce qui est vu comme un obstacle par bien des industries. L'empreinte énergétique, matérielle ou écologique peine à baisser. La main-d'œuvre et les compétences pour les transitions font défaut. Parmi les branches de diversification porteuses d'avenir sont l'industrie manufacturière, la logistique et le <i>supply chain management</i> , les <i>clean tech</i> , les <i>health tech</i> , le <i>space</i> et le maritime, les TIC et la cybersécurité, les <i>start-</i> et <i>scale-ups</i> .	La double transition digitale et écologique réduit les besoins en énergie, surface et matériaux et décharge les salariés de tâches pénibles et répétitives. Focus sur la manufacture d'outils et de pièces de rechange, combinant <i>high-</i> et <i>low-tech</i> , la logistique urbaine et l'approvisionnement de proximité, les <i>health</i> et <i>clean tech</i> . La digitalisation sert la météorologie, l'observation territoriale, les systèmes d'alerte précoce de catastrophes, la gestion des énergies intermittentes ou décentralisées et la stabilisation des réseaux électriques supranationaux. La production est circulaire et certains produits sont faits – ou réparés, réaffectés ou recyclés localement et régionalement.	La transition digitale accélérée ne réduit pas l'empreinte carbone, énergétique ou matérielle, vu l'explosion des usages (<i>data economy</i> , divertissement) et les limites physiques du recyclage. Terrains et main-d'œuvre résidente sont trop chers pour produire sur place. La digitalisation sert les services et l'assemblage de pièces venues de partout. <i>Internet of things</i> , <i>health tech</i> et impression 3D font des progrès majeurs en coûts et vitesse. Focus sur l'industrie de la (confiance dans la) donnée, de la cybersécurité, prototypage virtuel, <i>predictive maintenance</i> , <i>additive materials</i> , <i>roaming</i> , <i>cloud</i> et <i>sensors</i> . Concurrence globale acharnée pour les matières et les fréquences permettant de passer rapidement à la 6G et génération suivante.
M) RESSOURCES	Malgré l'efficacité, les flux et l'empreinte matériels grimpent et les prix des ressources aussi. L'UE interdit l'usage de matériaux non-recyclables, non-réutilisables ou issus de la déforestation et organise la circularité des matériaux en son sein.	Sous l'effet de la réduction de la demande et du recentrage géographique, le débit matériel se déplace et se réduit. La tendance à la pénurie des ressources naturelles ralentit, mais les prix restent hauts avec des taxes élevées sur les sources non-renouvelables.	La décarbonation et la digitalisation n'ont pas tenu leurs promesses de dématérialisation. Une situation mondiale de « guerre » des ressources les rend souvent chères et parfois indisponibles. On investit dans la recherche sur les matériaux pour promouvoir l'innovation, la substitution et l'application de nouvelles technologies et procédés. On va extraire les ressources extra-terrestres.
N) EAU	L'eau manque. On crée des méandres, mares et étangs dans les vallées afin de stocker l'eau et permettre la recharge des nappes. On donne de l'espace aux cours d'eau pour prévenir les inondations.	L'eau manque. On retient les eaux de pluie dans les villes en plantant de la végétation « éponge » le long des rues et des trottoirs et en reliant ces structures aux racines des arbres. Agroforesterie et stockage inter-saisonnier d'eau alimentaire.	L'eau manque. Les industries se font concurrence pour l'accès à l'eau. La pénurie d'eau est aussi abordée de manière technologique avec des infrastructures grises (pompage, potabilisation, importation, serres, mégabassines).

BIFURCATIONS	SCÉNARIO 1 (S1) SOMNAMBULISME SOCIO-ÉCONOMIQUE	SCÉNARIO 2 (S2) CIRCULARITÉ BIO-RÉGIONALE	SCÉNARIO 3 (S3) OPTIMISME TECHNO-DIGITAL
O) AGRICULTURE	On tente de réduire la taille du cheptel pour réduire les émissions, alors que les effets négatifs du changement climatique se font sentir. Les terres agricoles subissent la pression des besoins foncier pour le logement et les infrastructures. On reste quand même dépendant d'importations pour la fertilisation et la nourriture animale et humaine, ce qui permet de produire moins cher et allège le portefeuille du consommateur. Gros progrès en matière de réduction du gaspillage alimentaire, peu de progrès en matière d'agriculture biologique.	Profond changement des méthodes agricoles qui privilégient le marché régional à l'exportation et réduisent ou substituent les protéines et les intrants synthétiques importés. La réduction des choix et l'augmentation des prix alimentaires incitent les populations à privilégier la qualité locale (gibier et produits saisonniers) à la quantité importée. Les fermes urbaines se multiplient et le régime alimentaire devient moins carné et moins variés. La main-d'œuvre agricole ne manque pas et les revenus sont rémunérateurs et stables.	L'agriculture adopte les méthodes industrielles et robotisées de précision et hors sol, permettant de réduire les apports en produits chimiques et le temps de travail dans une optique de maximisation des rendements à des prix abordables. Des contrats d'achat de terres et de fermes ailleurs sont signés et les produits alimentaires sont échangés sur les marchés mondiaux. Les fonctions écosystémiques défaillantes sont remplacées par la technologie (p.ex. substrat ou lieu de sol, climatisation ou lieu d'ombrage et de ventilation naturels).
P) SOINS ET SANTÉ	Le système sanitaire est sous tension face à la résurgence de pandémies, la généralisation de la mauvaise santé mentale et des maladies de civilisation, l'essoufflement et l'absence de relève du personnel – de l'infirmière au pédiatre, chirurgien ou psychiatre –, et face à la sur-médication et à l'antibiorésistance. Réduire les soins à faible valeur ajoutée (<i>low value care</i>) et le gaspillage (<i>wasteful spending</i>) sont des opportunités pour faire des économies.	Il y a une augmentation du bien-être et de l'état sanitaire, aidée par le recul de la pollution, la préservation des écosystèmes récréatifs et des paysages ou le travail physique et à l'extérieur. Le bien-être psychologique entraîne une baisse notable des maladies et des coûts sociaux associés. Des centres de compétences médicales et infrastructures sanitaires mutualisés voient le jour en espace rural et en Grande Région. L'IA aide à choisir le produit ou le soin à plus faibles émissions.	Hauts investissements et progrès dans les <i>health tech</i> . D'une part, la science permet de vaincre toujours plus de maladies et de rallonger la vie. Les visites médicales se font en ligne. Le <i>machine learning</i> prédit les risques, les <i>wearables</i> détectent les problèmes plus tôt et l'automation diminue les besoins en personnel. Grâce à la littérature en santé, les régimes alimentaires sont plus équilibrés. De l'autre part, la vie va plus vite et les changements constants et pressions sociales ont des impacts sanitaires néfastes.
TO N NOUVEAUX TYPES DE GOVERNANCE EN EUROPE	Démocratie tenue pour acquise, confiance dans les institutions et les médias	Renouveau et fragmentation démocratiques, mix confiance et méfiance	Gouvernance « privatisée » et divisée, méfiance dans les institutions et les médias
A) DÉMOCRATIE ET REPRÉSENTATION	Les démocraties représentatives sont sous l'influence de groupes de pression et font face au désintérêt de la société civile pour les biens communs et la politique. Avec de plus en plus de partis, on est obligé de trouver un consensus large, qui rend impossible la prise de décision sur des questions difficiles ou long-terme. Les lourdeurs administratives s'aggravent. Les transitions sont organisées par les gouvernements centraux.	Les systèmes démocratiques du 19 ^{ème} siècle sont modifiés. De nouvelles formes d'expression de la volonté populaire sont ajoutées, p.ex. des conventions citoyennes ou les consultations publiques, dans lesquelles on oppose son point de vue et argumente. On y inclut aussi les voix des non-nationaux résidents. Les communes et collectivités territoriales prennent plus de poids. État de droit fort mais dans une UE plus petite.	Le populisme et l'extrémisme font rage et paralysent l'UE. L'expression de la volonté populaire se fait en ligne et en solitaire. Certains pays cherchent une échappatoire en ayant recours à des mécanismes de participation digitale et l'utilisation de l'IA pour arriver à des décisions « optimisées ». Les mégafirmes et les mégapoles ont beaucoup de poids. Les subventions / taxes sont préférées aux lois.

BIFURCATIONS		SCÉNARIO 1 (S1) SOMNAMBULISME SOCIO-ÉCONOMIQUE	SCÉNARIO 2 (S2) CIRCULARITÉ BIO-RÉGIONALE	SCÉNARIO 3 (S3) OPTIMISME TECHNO-DIGITAL
B) MÉDIAS		Un certain nombre de médias globaux et nationaux sont les points de référence. Les réseaux sociaux sont encadrés mais sont parfois détournés par les GAFAM qui poussent au consumérisme et à l'alignement. Limite de l'information critique basée sur les faits et l'investigation.	Dans chaque région il y a des médias réputés. Ils sont encadrés par un nombre limité d'acteurs (étatiques et privés) et sont censés communiquer des informations objectives et <i>reality-checked</i> . Le risque de biais et de <i>splinternet</i> existe toujours.	Il y a une grande démocratisation et digitalisation de l'accès à l'information, mais sans le filtre des « rédacteurs » et des régulateurs, il n'y a pas moyen de contrôler la qualité d'une source. La quantité d'informations disponibles est écrasante, la qualité laisse à désirer. Il est donc difficile de déceler les <i>fake news</i> ou d'échapper à la pensée unique.
T T M	LE RÔLE DE L'UE ET DU PACTE VERT EUROPÉEN	Le Pacte vert progresse mais le reste du monde est à la traîne	Le Pacte vert est le modèle suivi mondialement	Le Pacte vert est bloqué et l'UE a perdu du poids
	A) TRANSITION ÉCOLOGIQUE MONDIALE	Un nouvel ordre géopolitique mondial au sein duquel l'UE mène seule sa transition écologique.	Un nouvel ordre géopolitique mondial mené par une (micro) UE leader de la transition écologique.	Un nouvel ordre géopolitique mondial au sein duquel personne ne réussit vraiment la transition écologique.
	B) ÉTAT DE L'UE	La transition de l'UE se fait au prix d'une perte de compétitivité économique et d'influence politique mondiale (IRA aux USA, Chine, etc.).	Quelques pays de l'UE sont bien plus intégrés au sein d'un noyau dur (<i>core Europe</i>) et vont de l'avant avec le marché commun. D'autres sont moins intégrés et ont une réglementation moins stricte, selon une géométrie variable.	La légitimité de l'UE remise en question par des partis populistes nationaux ou forces étrangères. En conséquence, elle est fragmentée et les décisions bloquées.
T T M	C) TENSIONS GÉOPOLITIQUES	Il y a une forte polarisation entre pays démocratiques et autoritaires.	Le déclin des échanges internationaux des ressources naturelles provoque des relations tendues et protectionnistes.	La concurrence économique intense entre les États a des retombées politiques positives (coopération) et négatives (confrontation) avec des alliances opportunistes. L'harmonisation fiscale internationale (OCDE, etc.) avance peu.
T T M	ÉQUILIBRE ENTRE INTÉRÊTS INDIVIDUELS / COLLECTIFS	Compromis, changement de comportement très lent	Conscience collective, changement rapide de comportement	Individualisme et polarisation, peu de changement de comportement
	1. MODÈLE SOCIO- POLITIQUE	Un modèle basé sur la tradition du compromis entre les intérêts individuels et collectifs et l'ouverture culturelle et linguistique. Les non-luxembourgeois ne votent pas, alors qu'ils sont presque majoritaires.	Un modèle basé sur une forte conscience sociale et environnementale avec un rapprochement entre individus. La résilience réside dans la participation citoyenne, la déconcentration et décentralisation, les petites mailles déconnectables. La participation aux élections est facilitée.	Un modèle basé sur l'individualisme qui met la priorité sur le confort et la protection individuels. Polarisation entre groupes d'intérêts. La résilience réside dans le grand web connecté et les infrastructures critiques centralisées. Le système de vote favorise les riches (et les hommes). Oligarchie.

BIFURCATIONS	SCÉNARIO 1 (S1) SOMNAMBULISME SOCIO-ÉCONOMIQUE	SCÉNARIO 2 (S2) CIRCULARITÉ BIO-RÉGIONALE	SCÉNARIO 3 (S3) OPTIMISME TECHNO-DIGITAL
2. CHANGEMENT DE COMPORTEMENT DES CONSOMMATEURS	On voudra bien changer, mais il est très difficile de le faire – il manque des offres alternatives, la publicité pousse encore à la consommation.	Changement de cap – la consommation est souvent un service et on mise sur la réparabilité et la réutilisation.	Absence de changement liée à l'idée que la technologie apportera toutes les solutions.
3. GESTION DES CRISES	Distanciation relationnelle entre l'administration et ses administrés. On peine à gérer les dissonances et multi-crisis avec des consultations publiques. La profondeur des crises n'est pas reconnue ou admise et leur gestion se fait <i>ad hoc</i> , au cas par cas, en silo et à court terme.	Solidarité face aux crises avec parfois une polarisation entre les différentes régions et pôles de décision (populisme vert). Gestion <i>bottom-up</i> anticipative, transfrontalière et lente mais à long terme des crises, dans un contexte de fin de l'abondance.	Anonymisation et déshumanisation, avec l'emploi des algorithmes et de la surveillance pour résoudre les crises. Gestion <i>top-down</i> , réactive, localisée et rapide, mais à court terme des crises, par la privatisation et la sécurisation des ressources.

Plus d'informations sur les scénarios sont disponibles sur [le site de Luxembourg Stratégie](#)

4. Les scénarios et les dilemmes associés

L'ensemble des scénarios met en évidence les dilemmes auxquels l'économie luxembourgeoise est confrontée. Ces dilemmes constituent des problèmes pour lesquels il n'existe pas de solution simple – soit une option est en conflit avec une autre, soit aucune des deux options n'est satisfaisante.

Les trois scénarios ont déjà suscité des débats publics au sujet de ces dilemmes. Mais, il convient de souligner que le Luxembourg n'a pas besoin de choisir immédiatement et définitivement entre le noir et le blanc. À mesure que le temps passe, il se peut que de nouvelles options apparaissent et que le dilemme s'estompe. Cela signifie toutefois qu'il faut être constamment vigilant et anticiper la suite.

Les trois principaux dilemmes relevés dans les débats publics semblent être les suivants :

- **Décarbonation vs. Compétitivité** : il est évident que la neutralité carbone est indispensable d'un point de vue mondial pour lutter contre le réchauffement climatique. Les scénarios se distinguent selon la volonté et la capacité du reste de l'Europe et du monde à progresser vers un nouveau modèle économique plus soutenable. Alors comment s'assurer que le Luxembourg et ses entreprises suivent l'impératif climatique tout en maintenant leurs niveaux de compétitivité ?

- **Croissance démographique vs. État-providence** : la croissance démographique principalement due à l'immigration entraîne des inconvénients, tels que les embouteillages, l'impression d'être de plus en plus serrés et, dans l'esprit de certains, la crainte que la culture et la langue luxembourgeoises ne soient submergées (*Überfremdung*). Mais les travailleurs employés au Luxembourg apportent également les fonds nécessaires pour maintenir à flot les systèmes de retraite et de sécurité sociale, sans compter qu'ils font du Luxembourg un marché attractif en termes de croissance économique classique. Alors comment limiter les déstabilisations perçues de la croissance démographique sans provoquer un effondrement de notre État-providence et de notre économie ?

- **Technologie vs. Dépendance** : La technologie (plus récemment la technologie numérique) a été un grand catalyseur d'innovation, établissant de nouvelles normes sociales et changeant les pratiques et le fonctionnement des entreprises. Elle peut être utilisée pour découpler la croissance de l'utilisation des ressources en dématérialisant notre économie. Mais il ne faut pas négliger que la technologie a également une empreinte écologique et souffre des effets rebond bien connus (lorsqu'une plus grande efficacité réduit les coûts unitaires et entraîne une forte augmentation de la demande qui annule les gains d'efficacité). En outre, le Luxembourg est de plus en plus dépendant des technologies numériques, ce qui rend l'économie vulnérable aux cyberattaques et autres menaces pesants p.ex. sur l'approvisionnement des composantes. Et comme les entreprises se tournent vers l'utilisation de « plateformes numériques », la dépendance économique vis-à-vis des fournisseurs de ces plateformes – qui, pour la plupart, ne sont pas situés en Europe – augmente. Alors comment exploiter la valeur de la technologie sans en devenir totalement dépendant ?

D'autres dilemmes, qui ont également fait l'objet de discussions dans le contexte des scénarios, sont:

- **Inclusion politique vs. Urgence du changement** : l'économie du Luxembourg doit opérer un certain nombre de grands changements avec l'élimination des combustibles fossiles, l'introduction d'une économie circulaire et l'intensification de la numérisation. Cependant, le changement peut être perçu comme une menace dans une société économiquement aisée, où la liberté de choix économique est justement valorisée. Il ne sera pas possible d'opérer ce changement avec succès sans l'adhésion démocratique. Or la construction d'un nouveau consensus est lente, alors que le défi est urgent. De plus, tous ceux qui contribuent à l'économie luxembourgeoise (résidents et travailleurs transfrontaliers) devront être impliqués pour que le changement soit pleinement mis en œuvre. Le "*drei mol nee!*" exprime également clairement, au Luxembourg, que la citoyenneté doit être un pilier de la participation politique – excluant ainsi ces autres résidents et les travailleurs transfrontaliers des processus démocratiques classiques. Alors comment mobiliser l'ensemble de la population pertinente (pas seulement les citoyens), tout en progressant suffisamment rapidement pour relever le défi ?

- **Électrification verte vs. Sécurité de l'approvisionnement** : la voie vers la décarbonation de l'approvisionnement énergétique est actuellement principalement axée sur l'électrification, et tous les scénarios sont susceptibles de voir une augmentation de la part de l'électricité dans la consommation totale d'énergie, peu importe comment elle est générée ou stockée (batteries, hydrogène, etc.). Le danger est que cette dépendance accrue rendra le Luxembourg encore plus vulnérable, les pannes futures pourraient potentiellement affecter également les transports, le chauffage domestique ainsi que tout le reste. Alors, comment décarboner sans compromettre la sécurité de l'approvisionnement énergétique ?

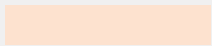
- **Développements mondiaux vs. Empreintes écologiques locales** : le monde ne peut pas être sauvé en ne sauvant que le Luxembourg. De toute évidence, si d'autres nations – bien au-delà des frontières de l'Europe – ne sont pas en mesure de générer la richesse dont elles ont besoin pour un niveau de vie décent, cela pourrait avoir des répercussions étendues, notamment un changement climatique accéléré (en cherchant à générer de la richesse) et des migrations massives. D'un autre côté, les intérêts écologiques et économiques convergent pour suggérer qu'il faut produire davantage localement, dans des conditions qui répondront à nos normes et qui ne nous laisseront pas à la merci des caprices de régimes autoritaires éloignés. Alors, comment garantir que le développement mondial se poursuive, tout en assurant un flux circulaire local ?

De plus, quelques faux dilemmes ont été discutés, où, bien qu'il y ait clairement des tensions dans les choix, il semble déjà clair qu'il existe une voie permettant d'éviter le pire des deux mondes :

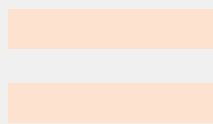
- **Changement comportemental vs. Ralentissement économique** : un autre facteur critique qui émerge dans les scénarios est la volonté des entreprises et des citoyens de modifier leurs habitudes de consommation pour avoir une empreinte écologique plus faible. Cela est souvent interprété par l'industrie comme signifiant que les citoyens devraient cesser d'acheter quoi que ce soit, et est donc perçu comme induisant une diminution du chiffre d'affaires et constituant un chemin vers le chômage de masse. Mais ce dilemme, bien qu'il puisse être réel si la solution était simplement de cesser d'acheter, est probablement faux. La réalité est plus subtile. Par exemple, changer la consommation peut signifier transformer un produit en un service, offrant ainsi un véhicule partagé accessible via une application, plutôt que de vendre une voiture à chaque individu (qui en moyenne est inactive pendant 96 % de sa durée de vie). Cela peut entraîner des économies de ressources. Bien que rendue possible par la technologie, le point clé est le changement économique de perception et le nouveau modèle d'affaires.

- **Atténuation du changement climatique vs. Adaptation au changement climatique** : il semble que l'attention politique et économique soit plus facilement concentrée sur un seul problème à la fois, et en ce moment, l'atténuation du dérèglement climatique étant au centre, elle conduit à négliger la réflexion sur l'adaptation à ce dérèglement. En effet, dans certains milieux, parler de la nécessité de s'attaquer à l'adaptation peut même être perçu comme un abandon tacite des efforts d'atténuation. Mais cela n'est pas forcément le cas. En effet, en entreprenant des efforts d'adaptation, y compris des infrastructures vertes et grises, il est probable que les émissions futures seront évitées, surtout si des changements climatiques radicaux se produisent. Par exemple, si le Luxembourg développe maintenant une purification et un stockage supplémentaires de l'eau, il ne sera pas nécessaire d'utiliser d'énormes quantités d'énergie (et les émissions qui en découlent) pour apporter de l'eau d'ailleurs en cas de future sécheresse.

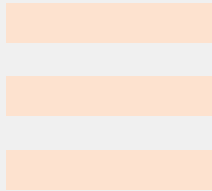
- **Flexibilité entrepreneuriale vs. Encadrement juridique** : une nécessité vitale dans tous les scénarios sera l'agilité. L'économie du Luxembourg a traditionnellement démontré son agilité grâce à l'esprit entrepreneurial de ses entreprises et à la flexibilité de sa population. D'un autre côté, pour opérer les multiples transitions nécessaires, un cadre clair doit être en place pour fournir une direction précise. De telles règles et réglementations peuvent entraver l'agilité. Cependant, ce dilemme dépend de la manière dont le cadre est établi. Plutôt que de détailler chaque étape à suivre, le cadre doit fournir des garanties sur la destination, par exemple afin que les entreprises investissant dans de nouvelles technologies coûteuses sachent qu'elles pourront rentabiliser cette technologie à l'avenir – et que d'autres qui n'investissent pas ne pourront pas les concurrencer sur le marché.



I La méthode



II La vision



III Les scénarios



IV Les annexes

IV. Les annexes

Annexe 1. Note méthodologique	168
Annexe 2. Cygne noir : « Reine rouge »	170
Annexe 3. Autres ensembles de scénarios comparables	172
Annexe 4. Résultats de la campagne publique ECO2050	174
Annexe 5. Commentaires d'experts en prospective	175
Annexe 6. Participants au processus	179
Annexe 7. Incidences territoriales potentielles de la Vision ECO2050	181

Annexe 1. Note méthodologique

Les scénarios concernent l'évolution de facteurs hors de notre contrôle. En matière de prospective stratégique, de multiples approches et méthodes sont possibles. L'approche qui a été retenue dans le cadre de ce processus consiste à créer des scénarios exploratoires sur la façon dont le monde autour du Luxembourg pourrait évoluer jusqu'en 2050. Ces évolutions peuvent soit nous aider, soit nous empêcher d'être résilients et d'atteindre la neutralité carbone. Une fois les scénarios élaborés, des choix stratégiques ont été développés qui sont robustes dans tous ces scénarios pour le gouvernement luxembourgeois. Les scénarios sont donc des hypothèses sur la façon dont des questions qui échappent à notre contrôle pourraient évoluer. En revanche, les choix stratégiques et la vision qui en résulte, constituent des éléments par rapport auxquels le gouvernement luxembourgeois peut prendre des décisions.

Les scénarios sont les limites d'une évolution plausible. Ces scénarios pour 2050 ne sont pas des prédictions. On peut s'attendre à ce que l'avenir se situera quelque part entre ces scénarios distincts, voire qu'on se retrouve avec un mélange d'éléments de ceux-ci. L'objectif de l'élaboration de ces scénarios est d'ouvrir notre esprit à de multiples alternatives futures qui sont plausibles compte tenu des mégatendances que nous pouvons déjà observer aujourd'hui. Nous sommes alors en mesure de mettre nos politiques à l'épreuve du futur en nous demandant si un choix stratégique quelconque est judicieux au cas où un tel scénario se produira. Pour que les choix puissent bien survivre dans tous les différents scénarios, il faut qu'ils soient robustes, quel que soit l'avenir réel. Nous pouvons donc identifier une liste de mesures « sans regret » à entreprendre.

Les critères du choix des scénarios. La plausibilité constitue un critère important pour le choix d'un scénario. Et attention, plausibilité n'est pas synonyme de probabilité, d'autant plus que nous sommes si mauvais pour juger de la probabilité sur une période de plusieurs décennies. Il suffit qu'un événement inattendu se produise (p.ex. le 11 septembre, le krach financier de 2008, Fukushima, le Brexit, le président Trump, le COVID-19, l'invasion russe de l'Ukraine, pour n'en citer que quelques-uns au cours des vingt dernières années) pour que tout calcul de probabilité soit démolé. La plausibilité est plutôt la capacité de tracer un chemin crédible d'ici là sans abuser des contraintes biophysiques. Pris ensemble, les trois scénarios esquissent des mondes futurs distincts qui couvrent les limites du plausible.

La quantification, oui, mais les indicateurs clés sont différents dans chaque scénario. En ce qui concerne la quantification, des futurs qualitativement différents sont développés. Même s'il est possible de les quantifier, il s'avère que certains indicateurs habituels utilisés, p.ex. le PIB, ne peuvent pas être pertinents dans tous les scénarios – précisément parce que le scénario suppose un rejet de la manière actuelle de voir (et de mesurer) le monde. Cela dit, il est parfaitement possible d'approfondir les implications d'un scénario pour une question particulière dans le cadre d'une étude connectée, pour autant qu'il soit clair qu'il peut être nécessaire de changer la perspective que nous avons sur une question ou un secteur donné (p.ex., pour comprendre que le « transport » d'aujourd'hui devra peut-être être considéré comme la « mobilité » demain).

A partir des scénarios, une vision commune. Chaque scénario a un impact sur la résilience de l'économie luxembourgeoise, et montre des opportunités et menaces qui pourraient survenir. En utilisant les scénarios, il est donc possible d'identifier les composants d'une vision et ses composants stratégiques, qui permettent à l'économie luxembourgeoise d'être résiliente, compétitive et inclusive dans tous les scénarios.

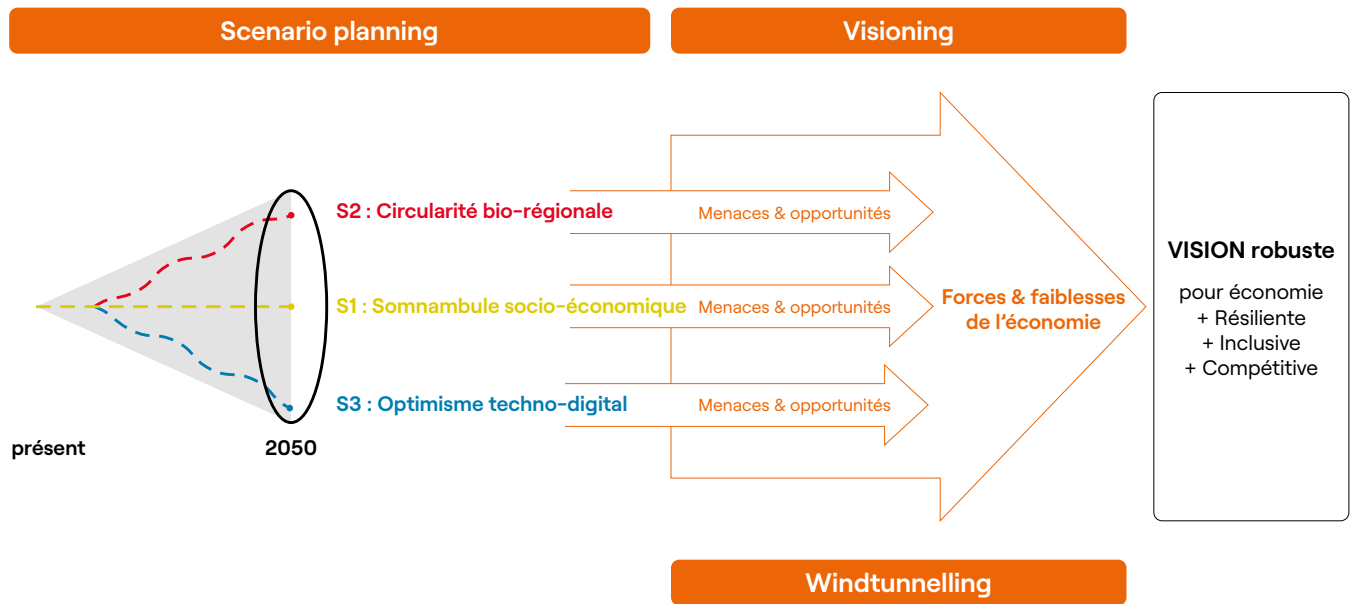


Figure 22. Utiliser les trois scénarios de manière exploratoire pour élaborer la Vision ECO2050

Annexe 2. Le cygne noir : « Reine rouge »



On appelle « cygne noir » un événement imprévisible qui a une faible probabilité de se dérouler mais qui, s'il se réalise, a des conséquences sévères et exceptionnelles. La théorie du « cygne noir » peut expliquer le rôle disproportionné d'événements majeurs rares, statistiquement très improbables et impossibles à calculer et extrêmement durs à prédire, qui sont hors des attentes normales en histoire, science, finance ou technologie. Elle explique aussi les biais cognitifs qui rendent les gens aveugles, individuellement et collectivement, à l'incertitude et au rôle massif des événements rares dans l'histoire. Quelques exemples de cygnes noirs sont les attentats du 11 septembre 2001, Fukushima, le printemps arabe, la pandémie COVID-19.

Le cygne noir retenu dans le cadre du travail ECO2050 consiste en une **accélération folle** des évolutions et événements hors de contrôle des populations et qui leur enlèvent la possibilité de planifier, voire d'agir. Renvoyant au concept de la *Grande Accélération*³³¹, ce cygne noir concerne une conjugaison des **phénomènes globaux** suivants : le changement climatique, l'érosion de la biodiversité et l'essor de l'IA et de la géo-ingénierie. Des points de basculement climatique, génétique, numérique, algorithmique ou technologique seraient atteints et des boucles de rétroaction³³² s'enclencheraient plus vite qu'anticipé par la société dans son ensemble. La dégradation du milieu et des liens sociaux déformerait la relation entre le **temps écologique** et le **temps social**. Les cartes seraient redistribuées en permanence. Le rythme débridé et la magnitude des perturbations feraient que le vivant n'arrive plus à s'adapter à temps. La société passerait par des effondrements partiels, à différents endroits et moments, avant de pouvoir renaître et se régénérer. Telle une catharsis, cette crise majeure porterait en elle son propre salut et provoquerait un sursaut débouchant sur une solution au problème qu'elle met en scène.

Ce cygne noir a été baptisé la « Reine rouge », en référence au personnage de la Reine Rouge dans le roman « De l'autre côté du miroir » de Lewis Carroll où elle dit à Alice : « Il faut courir de plus en plus vite pour rester sur place ». L'analogie porte sur la nécessité d'une adaptation constante et proactive pour éviter de se faire submerger par un emballement du phénomène climatique. L'analogie porte sur la nécessité d'une adaptation constante et proactive pour éviter de se faire submerger par un emballement des phénomènes cités plus haut.

Le cygne noir « Reine rouge » n'est pas propre au Luxembourg mais global. L'économie luxembourgeoise se retrouverait comme d'autres exposée aux disruptions radicales potentielles suivantes :

SOCIO-CULTURELLES :

- Agitation et activisme généralisés, mentalités de *short-term discounting*. Les adultes se comportent comme des enfants et évitent d'agir face aux menaces existentielles.
- Exode d'une Europe devenue inhospitalière suivi de migrations globales majeures de population en quête de terres habitables et productives, y compris vers l'Espace. Certaines populations d'Europe suivent la végétation vers le Nord, d'autres se déplacent vers l'Afrique, devenue terre d'accueil.
- Après une période de pandémies et de recul de l'espérance de vie, de dés-alphabétisation, le niveau sanitaire s'améliore suite à la régénérescence environnementale, et il y a un essor des formations *Do-it-Yourself* technique et manuelle, suivi d'une renaissance des sciences et des arts.

331 Will Steffen et al. (2015), *The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration*. The Anthropocene Review. 2 (1): 81-98

332 P.ex., le réchauffement climatique entraîne la fonte du pergélisol, un phénomène qui libère du CO₂ et du méthane. Plus les émissions de GES augmentent, plus il y a du réchauffement, qui lui-même renforce la fonte du pergélisol.

TECHNOLOGIQUES :

- Les tentatives de géo-ingénierie ont dérapé en manipulations non-contrôlée et irréversibles des processus naturels. Les limites de l'adaptation sont atteintes. Le réchauffement dépasse de loin les +2°C. Une fois que les émissions tarissent, les écosystèmes commencent lentement à se remettre et le *net zero* pourrait être vers 2100.
- L'IA développe une conscience « humaine » soit bienveillante, soit malveillante. Une « pandémie digitale » détruit toutes les données connectées par internet. Internet et le cloud permettent soit d'enrichir les capacités humaines universelles et de fédérer les communautés, soit d'opposer et d'appauvrir les humains (*splinternet*).
- Le choc entraîne soit une simplification des systèmes (petites entreprises, *low-tech*, chemins courts), soit une fuite en avant techno-digitale alimentée par le résidu d'énergie fossile aux mains de quelques hyper-agents ou firmes globales qui échappent au contrôle démocratique.
- Pour les contrées disposant de capacités anticipatives de stockage des énergies variables, la décrue énergétique fossile résulte en une massification des énergies renouvelables.

ÉCOLONOMIQUES :

- Tout d'abord, les pertes financières liées aux désastres climatiques font que le pouvoir d'achat et les revenus chutent, notamment dans les pays monétairement riches. Il y a des pénuries persistantes de nourriture, d'eau, de matières premières et d'énergie sur le marché mondial.
- Une économie du rationnement des biens et services publics vitaux et du troc s'installe, suivie d'une économie circulaire décentralisée.
- Après une période de *stand-still* puis de régénération de la biodiversité, des réserves en eau et des ressources naturelles, le monde repart à un niveau de richesse moindre, mais mieux répartie.
- Le savoir devient la nouvelle monnaie. Les échanges d'informations et de savoirs se maintiennent malgré la fin de la hypermobilité fossile longue distance. La mémoire des connaissances humaines et des civilisations d'antan est sauvée. Les banques de gènes des plantes et animaux domestiquées et sauvages sont les autres passerelles qui permettent de relancer la production alimentaire et manufacturière.

POLITIQUES ET LÉGALES :

- Initialement, échec des institutions traditionnelles (UE, États, gouvernements, presse, écoles) avec des risques de guerre chaude autour des ressources et de désobéissance civile de plus en plus violente.
- Ensuite, des communes et villes, certaines fortifiées, privatisées et isolées émergent, d'autres ouvertes et connectées. Après un certain temps, il y a une prise de conscience du destin de l'humanité et naissance d'un mouvement citoyen global œuvrant, à l'aide de la sauvegarde des savoirs de l'humanité et de la redécouverte des savoirs anciens, pour l'adaptation et la régénération environnementale et culturelle.

Annexe 3. Autres ensembles de scénarios comparables

Les scénarios ECO2050 s'insèrent dans une typologie établie de scénarios qui se dégage d'usages gouvernementaux, académiques et commerciaux récents tant au niveau national qu'international. Luxembourg Stratégie assure une veille de ces ensembles de scénarios qu'elle met régulièrement à jour et publie sur son site (voir les tableaux de suivi des scénarios [nationaux](#) et [internationaux](#)).

ARCHÉTYPIQUES

Scenarios archetypes of the futures of capitalism (Fergnani, 2019)

Scenario 1, Continued growth
Scenario 2, Disarray
Scenario 3, Steady State
Scenario 4, Transformation



NATIONAUX

Third Industrial Revolution (TIR) (Rifkin, 2016)

Scenario 1, 2d Industrial Revolution Reference scenario
Scenario 2, TIR Innovation scenario



Projections macroéconomiques et démographiques de long terme: 2017-2060 (STATEC, 2017)

Scénario 1, Scénario « +4,5% PIB », « +2,8% Productivité », « 1,2 mio Population »
Scénario 2, Scénario « +3,0% PIB », « +2,0% Productivité », « 1,1 mio Population »
Scénario 3, Scénario « +1,5% PIB », « +1,1% Productivité », « 1,0 mio Population »
Scénario 4, Scénario « +0,0% PIB », « +0,1% Productivité », « 1,0 mio Population »



Electricity Transmission Grid Scenario report 2040 (Creos, 2022)

Scénario 1, Scénario de référence (PNEC)
Scénario 2, Scénario cible (PNEC)
Scénario 3, Scénario TIR/Fraunhofer



Une vision territoriale pour le Luxembourg à long terme (Fondation IDEA, 2023)

Scénario « Au fil de l'eau » (+2,8% PIB/an)
Scénario A, Recul du niveau relatif de richesse vers celui constaté avant le décollage de la place financière
Scénario B, Accélération des gains de productivité apparente du travail



INTERNATIONAUX

The Shared Socio-economic Pathways (SSP) (IPCC, 2017)

SSP1, Sustainability (green road)
SSP2, Middle of the road
SSP3, Regional rivalry (rocky road)
SSP4, Inequality (divided road)
SSP5, Fossil-fuelled development (highway road)



Scenarios for the 2050 vision for biodiversity (CBD, 2017)

Scenario 1, Global technology
Scenario 2, Decentralized solutions
Scenario 3, Consumption change



Global trends 2040: a more contested world (National Intelligence Council, 2017)

Scénario 1, Renaissance of democracies

Scénario 2, A world adrift

Scénario 3, Competitive coexistence

Scénario 4, Separate silos

Scénario 5, Tragedy and mobilization

**Nature Futures Framework** (IPBES, 2020)

Scenario 1, Nature for Nature

Scenario 2, Nature for Society

Scenario 3, Nature for Culture

**World Energy Outlook** (IEA, 2021)

Scenario 1, Net Zero Emissions (NZE) by 2050

Scenario 2, Announced Pledges (APS)

Scenario 3, Stated Policies (STEPS)

Scenario 4, Sustainable Development (SDS)

**Climate Scenarios 2050 for central banks and supervisors** (NGFS, 2021)

Scenario 1, Net Zero 2050 (orderly transition)

Scenario 2, Below 2°C (orderly transition)

Scenario 3, Divergent Net Zero (disorderly transition)

**Shaping and securing the EU's open strategic autonomy by 2040 and beyond** (COM, 2021)

Scenario 1, Green leadership

Scenario 2, Complex prosperity

Scenario 3, Economic growth above all

Scenario 4, Retreat inwards

**Scénarios du Futur alimentaire en France 2030** (Greniers d'Abondance, 2021)

Scénario 1, Troupeau aveugle

Scénario 2, Atterrissage contrôlé

Scénario 3, Le bonheur est dans la cité

Scénario 4, Les überculteurs

**À quoi ressemblerait une France autonome et réindustrialisée en 2050 ?**

(Fabrique de l'industrie, 2022)

Scénario 1, Une industrie française exportatrice, calquée sur le modèle allemand

Scénario 2, Le retour en force de l'État-stratège

Scénario 3, La France championne de l'usine connectée

**Climate scenarios**

(Network of Central Banks and Supervisors for Greening the Financial System, 2022)

Scenario 1, Net Zero 2050 (orderly transition)

Scenario 2, Below 2 °C (orderly transition)

Scenario 3, Divergent Net Zero (disorderly transition)

Scenario 4, Delayed transition (disorderly transition)

Scenario 5, Nationally Determined Contribution (Hot House World)

Scenario 6, Current Policies (Hot House World)

**Prototyping 2040** (FutureS Thinking, 2022)

Scénario 1, Kind Capitalism

Scénario 2, Active Restoration

Scénario 3, Self-Consumed

Scénario 4, Less Is Enough



Annexe 4. Résultats de la campagne publique ECO2050

Dans le cadre de l'**initiative prospective collaborative ECO2050** d'élaboration de scénarios d'avenir plausibles et d'une vision stratégique souhaitable pour l'économie luxembourgeoise en 2050, Luxembourg Stratégie a mené une campagne de consultation du grand public. Du 02.12.22 au 16.01.23, une **enquête en ligne par questionnaire** (en luxembourgeois, français, allemand et anglais) a été réalisée et **deux rencontres citoyennes** avec M. Franz Fayot, Ministre de l'Économie, ont été organisées. Le rapport présentant les **résultats détaillés** de cette campagne est disponible sur le site web de Luxembourg Stratégie. En voici le résumé :

LES ENSEIGNEMENTS DE L'ENQUÊTE :

- **Participation** : près de 650 personnes ont répondu au questionnaire
- **Profil type** : en moyenne, les répondants sont en âge de travailler (35-55 ans), salariés et résidents au Luxembourg
- **Préparation de l'avenir** : les répondants estiment que l'économie luxembourgeoise est bien préparée pour faire face au scénario S1 (« Somnambule socio-économique ») ou au scénario S3 (« Optimisme techno-digital ») mais aussi qu'elle est insuffisamment préparée quel que soit le scénario qui adviendra (chaque réponse ayant reçu près d'1/3 des suffrages)
- **Scénarios réalistes** : la majorité considère que les S1 et S3 sont aussi les scénarios qui ont le plus de chance de se réaliser pour l'économie luxembourgeoise d'ici 2050
- **Scénario désirable** : le scénario S2 (« Circularité bio-régionale ») est largement perçu comme étant celui qui respecte le plus les limites biophysiques territoriales et planétaires et les besoins socioéconomiques fondamentaux de la population. Pour 75%, le S2 est d'ailleurs le scénario le plus désirable pour l'économie en 2050.
- **Enseignement scénarios** : ce qui semble le plus probable n'est pas forcément le plus désirable (et inversement)
- **Enseignement vision** : dans tous les scénarios, les menaces identifiées sont en même temps perçues comme des opportunités

RÉFLEXIONS ISSUES DES RENCONTRES AVEC LES CITOYENS :

- **Participation** : près de 70 répondants à l'enquête ont reçu la possibilité d'échanger directement avec M. le ministre
- **Stratégies existantes** : les participants à ces rencontres ont souligné l'importance de débattre publiquement des stratégies économiques nationales existantes et de les adapter aux défis environnementaux
- **Modèle de développement** : plus largement, en reconnaissant l'ampleur du défi, ils ont plaidé pour une transformation du modèle actuel afin de coupler plus étroitement les intérêts socio-économiques & biophysiques
- **Les activités d'avenir** : le point de départ de ces changements devrait être une réflexion sur les métiers d'avenir
- **L'engagement citoyen** : ces transitions sauraient être facilitées par un engagement citoyen large (notamment des jeunes)
- **La formation** : l'engagement passe par l'intégration de ces défis et d'une compréhension biophysique de l'économie aux programmes scolaires et de formation continue
- **La coordination internationale** : notant que les problèmes sont globaux et les moyens nationaux limités, les participants ont insisté sur l'importance de saisir les chances d'influencer la communauté internationale en tenant compte des forces et faiblesses du Luxembourg

Annexe 5. Commentaires d'experts en prospective

Un Comité d'experts a été mis en place en vue de contribuer aux travaux de prospective stratégique confiés à Luxembourg Stratégie. Il est composé de représentants d'associations professionnelles, centres de recherche, groupes de réflexion et cabinets de conseils, nationaux et grand régionaux, réunis pour leur expertise de prospective. Le Comité a été sollicité deux fois dans le cadre d'ECO2050 par deux enquêtes via questionnaires en ligne. Voici des extraits de leurs commentaires, publiés avec l'accord de leurs auteurs.

Les familles de scénarios économiques émergents sont-elles réalistes et compatibles avec un monde soumis à des contraintes bio-géo-physiques (p.ex. la perte de biodiversité, le manque de surfaces et d'eau, la contraction des ressources et matériaux, la fin de l'abondance des énergies fossiles ou les limites de la concentration de CO₂eq.) ?

« Les scénarios n'ont pas vocation à « durer », ce serait alors des prévisions. L'objectif des scénarios est de couvrir, à un instant T, tout le champ des possibles, pour en déduire les actions à mener pour s'approprier au mieux le futur, pour le construire au lieu de le subir. Donc, si à l'instant T+1, disons 5 ans plus tard, de nouveaux éléments modifient les hypothèses initiales, il faut alors actualiser les scénarios. »

Pascale Van Doren, Wallonia Policy Lab de l'Institut Destrée

Les familles de scénarios économiques émergents peuvent-elles passer l'épreuve du temps ? Quelles implications paraissent-elles pouvoir avoir pour les jeunes générations et quel regard ces générations pourraient-elles leur porter ?

« Le maintien (...) d'une croissance quantitative selon le modèle traditionnel basé sur le PIB va entraîner de graves crises climatiques, une pollution de moins en moins supportable, des flux migratoires importants, des conflits, et l'ensemble aura des répercussions directes sur la sphère socio-culturelle, sur le nouvel ordre géopolitique mondial. »

Pascale Van Doren, Wallonia Policy Lab de l'Institut Destrée

« Une ambition raisonnable pour notre exercice de prospective devrait être (...) d'examiner un éventail suffisamment large et diversifié de perspectives pour pouvoir affirmer, aux yeux des prochaines générations, d'avoir au moins tenté de comprendre ce qui les attend. Compte tenu de l'inévitable gravité des crises à venir (même en cas de choix drastiques en faveur de la transition, qui ne sont pas pris à ce jour), le regard sévère des jeunes qui naissent aujourd'hui et auront donc la trentaine lors de la date-cible de cet exercice ne sera teinté d'un début de compréhension que si celui-ci privilégie la conation plutôt que le subi. »

Jean Lasar, Fondateur, Survcoin.lu

« Peut-être peut-on se demander ce qui rendra le Luxembourg intéressant pour les jeunes générations à venir pour s'y installer si les principes de nomades digitaux et de télétravail deviennent de plus en plus une. »

Jean Claude Zeimet, Spatial Foresight

Les familles de scénarios économiques émergents vous paraissent-elles suffisamment distinctes ? Vous paraissent-elles couvrir un éventail d'avenirs plausibles suffisamment large ?

« Les scénarios ECO2050 correspondent plus ou moins aux scénarios généraux actuellement développés par d'autres prospectivistes à travers le monde. »

Sylvain Cottong, Exploringfutures.net

« [Les scénarios pourraient aller encore plus] en profondeur au niveau de l'utilisation des ressources et de la gestion de ces ressources et des déchets. Quelle est l'empreinte que notre mode de vie actuel laisse sur le monde et comment devenir plus durables ? »

Tom Dusseldorf, CONVIS

Quelles implications ont-elles pour les secteurs, filières et branches économiques ? Selon vous, quels secteurs économiques sont future-fit, lesquels s'affirmeront et lesquels déclineront d'ici 2050 (p.ex. suivant la création de PIB, l'emploi, l'*output* physique, la couverture des besoins domestiques, les échanges commerciaux ou exportations) ?

« Même s'il est tentant de classer les secteurs économiques en fonction de leur compatibilité avec les contours devinés d'une société en voie de décarbonation, par exemple en prédisant un avenir brillant à ceux liés aux énergies renouvelables ou à la mobilité douce, il importe de préciser que même ceux-ci ne s'en sortiront pas bien non plus si l'ensemble des activités humaines n'est pas mis en phase avec les impératifs dictés par les crises climatiques et de biodiversité. En effet, à moins d'une redéfinition de ce qu'est la création de valeur qui tienne compte de ces impératifs, les fabricants de panneaux photovoltaïques ou de vélos électriques ne seront guère mieux lotis que les pétroliers ou les compagnies d'aviation dans un monde qui aurait raté le coche de la décarbonation et d'une mise en conformité des activités humaines avec les besoins de survie de l'espèce. Pour autant, les familles de scénarios proposées sont sans doute pertinentes pour évaluer individuellement la viabilité des différents secteurs et les aider à engager leur marche vers la résilience. »

Jean Lasar, Fondateur, Survcoin.lu

« Si l'on utilisait efficacement les prairies permanentes et que l'on cultivait en plus un peu de fourrage (trèfle) sur les terres arables, on pourrait également nourrir les bovins en fonction de leurs besoins. En outre, il faudrait réduire le cheptel d'environ 1/3 pour pouvoir les nourrir sans importer de soja, avec la surface disponible au Luxembourg. L'élevage à la ferme aurait également l'avantage de libérer des terres agricoles utilisées jusqu'à présent pour la production d'aliments pour animaux afin de les consacrer à des cultures destinées à l'alimentation humaine. En outre, on réduirait les émissions de gaz à effet de serre d'environ 75%. Bien sûr, cela aurait aussi une influence sur l'alimentation. Le Luxembourg devrait ainsi réduire sa consommation de viande de 76%, par exemple. »

Stéphanie Zimmer, IBLA

« Si l'on réalise grossièrement l'exercice visant à croiser les scénarios proposés et les principaux secteurs économiques, le secteur des sciences et technologies sort sans surprise grand gagnant de l'exercice, suivi par celui des services, notamment les services où l'automatisation des tâches n'est pas possible. (...) Au final, c'est la dimension technocentrée des scénarios qui ressort comme levier consensuel. Il serait intéressant dans cette perspective d'appuyer sur le développement du secteur créatif et culturel et de s'interroger sur la notion de subsistance vs consommation. »

Christelle Mescolini, ACIDU

Si vous dirigiez une entreprise, quelles implications ces familles de scénarios économiques émergents pourraient-elles avoir sur votre activité ?

« Pour un dirigeant d'entreprise un tant soit peu au fait des risques tels qu'ils s'annoncent en 2022, ces familles de scénarios ne devraient pas constituer une surprise. Pour autant, il y a fort à parier que pour grande majorité d'entre eux, elles n'ont pas été intégrées à leurs stratégies, une situation qui reflète la très forte inertie du business as usual... »

Jean Lasar, Fondateur, Survcoin.lu

« Le propre de l'entrepreneuriat étant l'adaptation et la disruption, la foi, l'imaginaire, la vision du monde influent sur les choix des décideurs, qui parviennent à adapter les organisations, les modes de travail, les investissements, les chaînes logistiques. C'est la vitesse d'adaptation qui est cruciale. [Pour cela,] il est bon de séparer prospective et stratégie. »

Christelle Mescolini, Acidu

Quelles sont, selon vous, les opportunités que présente le scénario 2 'circularité bio-régionale' pour votre propre domaine de spécialisation ?

« Dans l'idéal, la production agricole est convertie à l'agriculture biologique, qui est la forme d'agriculture la plus durable en termes de protection du climat, des sols, de la biodiversité et de l'eau. De plus, dans l'idéal, l'agriculture sera liée à la surface. En d'autres termes, on n'élèvera que le nombre d'animaux que l'on peut nourrir avec la surface nationale disponible. Toutefois, les consommateurs devront également changer leurs habitudes alimentaires, en consommant moins de viande par exemple, faute de quoi les importations augmenteront. »

Stéphanie Zimmer, IBLA

Quelles sont, selon vous, les opportunités que présente le scénario 3 'optimisme techno-digital' pour votre propre domaine de spécialisation ?

« [Opportunités S3] Comme ce scénario pousse à l'extrême un monde numérisé, il améliorera à priori la simplification des démarches administratives par leur digitalisation ce qui est considéré comme un avantage pour nos professions. Ce scénario pousserait pour une véritable simplification administrative, se traduisant par une digitalisation intelligente des procédures, pour dématérialiser et accélérer leur instruction afin d'obtenir les autorisations plus rapidement, de manière plus fluide et traçable, et pour les projets requérant de multiples autorisations, par la création d'un « guichet unique » disposant de compétences transversales pour traiter à la fois avec les administrations étatiques et les administrations communales. »

Pierre Hurt, OAI

Quelles sont vos recommandations pour une vision stratégique qui accroît la résilience, l'inclusivité et la compétitivité dans votre domaine de spécialisation dans tous les cas (quel que soit le scénario qui se réalisera en 2050) ?

« [Recommandations concernant la Vision ECO2050 pour le secteur bancaire]

Talents et compétences

- Augmenter les subventions aux entreprises qui investissent dans la formation et la requalification
- Développer des modules de formation plus spécifiques sur la finance durable/digitalisation qui répondent aux besoins des professionnels de la finance luxembourgeoise
- Développer un master spécifique en Compliance à l'Université afin de répondre à la pénurie de talents dans ce domaine
- Mise en place d'un Partenariat Public-Privé afin de créer des logements abordables pour les jeunes
- Eviter la surréglementation du droit social de l'UE (par exemple, des congés sociaux supplémentaires)
- Améliorer la flexibilité du droit du travail sans affecter le nombre total d'heures de travail
- Établir un cadre uniforme permettant le travail à domicile transfrontalier jusqu'à deux jours par semaine au sein de la Grande Région, voire un statut de télétravailleur au niveau européen

Fiscalité et indexation

- Diminuer le taux nominal d'imposition des sociétés (l'impôt commercial communal inclus) à la moyenne de l'UE/OCDE (20%)
- Introduire un allègement de l'impôt sur les sociétés pour soutenir la transition numérique, la formation et la mise à niveau des compétences, comme le propose l'UEL
- Rendre plus attractifs le régime fiscal de la prime participative et le régime d'imposition des impatriés
- Lier le taux d'indexation au montant du salaire et limiter l'indexation à une tranche indiciaire par an

Finance durable

- Créer un registre national des données non-financières des entreprises permettant l'évaluation ESG à utiliser dans l'évaluation des risques des banques, des assureurs et des fonds
- Créer un registre numérique de l'efficacité énergétique de chaque bâtiment (disponible pour les banques, les notaires, etc.)
- Soutenir le développement de produits de pension complémentaires en accordant des incitants fiscaux attractifs pour les classes d'actifs durables
- Permettre de réduire les exigences en fonds propres pour les prêts immobiliers finançant l'efficacité énergétique

Cadre réglementaire

- Eviter la surréglementation, en s'alignant strictement sur les directives de l'UE et les exigences réglementaires internationales
- Maintenir un régulateur national solide et efficace et plaider pour une supervision décentralisée au niveau européen
- Revoir le modèle de financement du régulateur national de manière à accroître la participation du secteur public
- Développer une stratégie nationale pour défendre les intérêts du Luxembourg dans les instances européennes par un programme de détachement dans les institutions de l'UE. »

Annexe 6. Les participants au processus

Le processus prospectif collaboratif ECO2050 mené entre avril 2022 et juillet 2023 s'appuie sur un matériau empirique spécifique constitué grâce à différentes méthodes :

- **Recherche documentaire** : littérature académique & rapports officiels
- **Entretiens semi-directifs** : plan & effets boule de neige
- **Groupes de discussions** : réunions, ateliers & débats
- **Enquêtes par questionnaires** : consultations d'experts & campagne publique

L'objectif continu est de s'accorder avec l'expertise en stimulant l'adhésion du public. Au total, près d'un millier de personnes ont contribué à élaborer les scénarios d'avenir et la vision stratégique qui y répond.

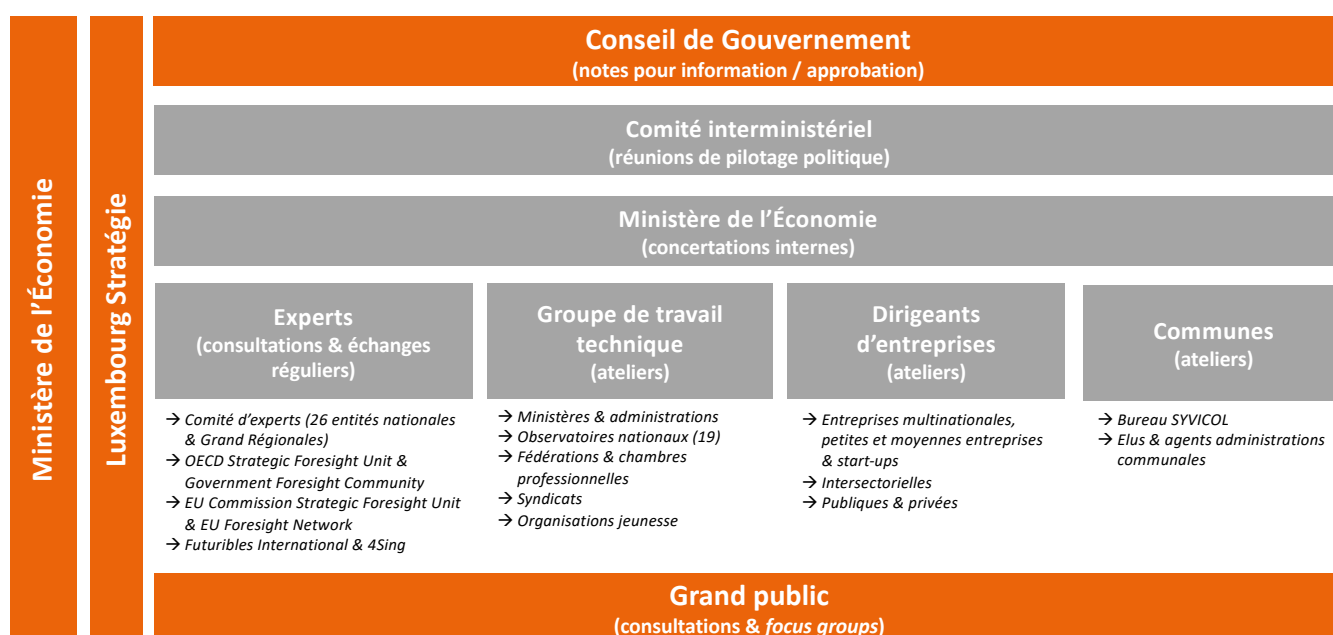


Figure 23. Gouvernance de Luxembourg Stratégie

#	GROUPES DE DISCUSSIONS	RENCONTRES	PRÉSENCES*	PARTICIPANTS
1	COMITÉ INTERMINISTÉRIEL POLITIQUE	4	71	41
2	GROUPE DE TRAVAIL TECHNIQUE	6	224	99
3	GROUPE DE TRAVAIL MINISTÈRE DE L'ÉCONOMIE	3	32	27
4	CONSULTATIONS DIRIGEANTS D'ENTREPRISES	2	90	76
5	CONSULTATIONS COMMUNES	2	36	35
6	CONSULTATIONS PARTENAIRES SOCIAUX	2	43	43
7	CONSULTATION CHAMBRES DES DÉPUTÉS	1	15	15
8	DÉBATS-CITOYENS	2	38	38
TOTAL		22	549	374

* Certains participants ont participé à plusieurs rencontres

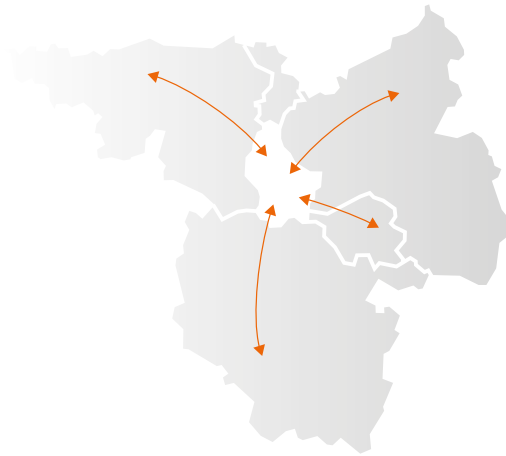
#	ENQUÊTES PAR QUESTIONNAIRES	QUESTIONNAIRES	RÉPONDANTS
1	CONSULTATION D'EXPERTS EN PROSPECTIVE	2	21
2	CAMPAGNE PUBLIQUE	1	641
	TOTAL	3	

#	ENTRETIENS SEMI-DIRECTIFS	PARTICIPANTS
1	DÉCIDEURS ÉCONOMIQUES CLÉS	8
2	EXPERTS FINANCE & FISCALITÉ	2
	TOTAL	10

#	CONSEIL DE GOUVERNEMENT	SOUMISSIONS
1	NOPE POUR APPROBATION (ÉNONCÉ DE MISSION)	1
2	NOTE POUR INFORMATION (ECO2050)	1
	TOTAL	2

Figure 24. Participation dans le processus prospectif ECO2050

Annexe 7. Incidences territoriales potentielles de la Vision ECO2050



Les évolutions et crises de la dernière décennie, notamment liées aux changements climatiques, aux conflits armés, aux flux migratoires et à l'inflation, montrent l'ampleur des mutations auxquelles il faut se préparer. Il s'agit notamment d'assurer l'accès aux ressources énergétiques et matérielles essentielles (autonomie), de renforcer la capacité à réagir à des situations imprévues et à rebondir en cas de crise (résilience) et de garantir l'égalité des chances et la justice sociale (inclusivité). L'ensemble de ces transitions doivent poser les bases d'une économie résiliente, inclusive et compétitive.

Alors, quelle est la situation du Luxembourg en 2023 ? Quels sont ses atouts territoriaux et économiques pour construire une économie autonome, résiliente, inclusive et compétitive à l'horizon 2050 ? Il s'agit d'identifier les structures spatiales qui soutiennent dès aujourd'hui la compétitivité, l'autonomie, la résilience et l'inclusion et connaître les régions qui en sont déjà bien préparées en vue de 2050.

La performance de l'économie luxembourgeoise est actuellement fortement liée aux réseaux d'échange et de coopération qui la lient aux territoires de la Grande Région, de l'UE et de l'économie mondialisée, tant pour les exportations que pour les importations. L'organisation actuelle du territoire luxembourgeois reflète cette grande ouverture internationale.

Le territoire national se structure autour des **agglomérations** urbaines Sud, Centre et Nord et des axes nord/sud et est/ouest concentrant les infrastructures de transport, les flux énergétiques, le réseau de fibre optique. C'est dans ces pôles urbains que se concentre la vie économique et sociale. Des axes secondaires desservent les **Centres de Développement et d'Attraction** (CDA). Le poids économique de ces CDA est moins important que celui des agglomérations urbaines. Parfois éloignés des principaux axes de transport, les CDA ont rarement un rôle moteur dans le développement économique. La plupart des CDA est bien reliée aux agglomérations urbaines. Ils permettent au-delà d'organiser l'accès aux services publics et l'interaction sociale. Dans les zones frontalières, les CDA présentent des nœuds importants pour les flux transfrontaliers (p.ex. transport et énergie, continuité écologique). Les quatre pôles logistiques internationaux, le pôle multimodal des CFL, le Eurohub Center Contern, l'aéroport et le port de Mertert, sont situés sur ces axes. Les infrastructures qui les relient permettent d'optimiser les flux internes et externes de marchandises.

L'économie luxembourgeoise est caractérisée par la diversité de ses secteurs porteurs nationaux et multinationaux, tant pour la production de biens que de services. On peut notamment mentionner la métallurgie, la chimie, la finance, l'artisanat et la R&D. Cette diversité est un facteur important de résilience. L'accès aux grands axes de transport et aux pôles logistiques facilite l'exportation des produits manufacturés.

Cependant, l'exploitation durable de ces atouts économiques présuppose que la capacité de charge du territoire luxembourgeois soit respectée. Dans un contexte de croissance économique et démographique, il est notamment important de limiter l'imperméabilisation de sols et de préserver

les surfaces naturelles, forestières et agricole. Le PDAT propose de réduire progressivement l'artificialisation du sol pour atteindre en 2035 0,25 hectare par jour en moyenne, puis tendre vers la zéro artificialisation nette à partir de 2050.³³³ Cela permettra de mieux recharger la nappe phréatique, de limiter l'érosion et l'appauvrissement des sols et de contribuer au maintien de la qualité de vie. En outre, les espaces naturels et les forêts séquestrent et stockent du CO₂.

La majeure partie de la population a déjà accès à la fibre optique. Il est prévu que le territoire entier soit desservi d'ici quelques années. La transition numérique permet déjà à des entreprises de services de quitter les agglomérations urbaines. Certaines choisissent de s'installer dans les CDA ou leurs alentours, au domicile, dans des espaces publics partagés, ou travaillent en nomade.

Pour répondre à une demande croissante en énergie tout en assurant la transition vers une économie post-fossile, le développement d'énergies vertes est nécessaire. Cela se traduit notamment par le développement actuel de l'énergie éolienne et hydroélectrique, en particulier dans le Nord. Combiné au renforcement des capacités de stockage d'énergie, celui-ci permet d'atténuer les effets de la dépendance du Luxembourg à l'égard de fournisseurs d'énergie étrangers.

Le Luxembourg dispose de nombreux atouts pour préserver en renforcer sa sécurité d'approvisionnement, la résilience, l'inclusion et sa compétitivité en matière économique. On peut en particulier mentionner la qualité de ses réseaux d'approvisionnement, ses multiples et divers secteurs économiques porteurs et sa bonne insertion dans l'économie mondialisée.

Le territoire luxembourgeois est actuellement fortement polarisé par les agglomérations urbaines Sud, Centre et Nord. Les CDA pourraient à l'avenir contribuer à une distribution spatiale plus équilibrée des activités économiques, des services publics et de l'habitat ainsi que des équipements et infrastructures publiques. Le développement et la densification des agglomérations et des CDA limiteraient l'imperméabilisation de sols en dehors des espaces urbains et permet d'attribuer aux espaces ruraux un rôle fondamental d'assureur de production alimentaire, énergétique et de matériaux (p.ex. bois) et de garantir des surfaces naturelles et des services écosystémiques. Cependant, l'expérience de ces dernières années a montré que les facteurs géographiques de localisation peuvent changer rapidement. Dès lors, il est important de donner à chaque localité et commune les moyens de s'adapter aux changements et de tirer parti des opportunités qui s'offrent à elle.

Luxembourg Stratégie propose deux cartes schématiques de localisation actuelle (2023, en tout début d'ouvrage) et future (2050, en toute fin d'ouvrage) des activités économiques. La première est basée sur les ZAE existantes du plan sectoriel ZAE, en vigueur depuis 2021. Pour la seconde, il s'agit d'une carte prospective qui vise à illustrer la présente Vision ECO2050, en relation avec les principes directeurs et les objectifs du PDAT, adopté en 2023. Elle est basée sur les ZAE projetées du plan sectoriel ZAE de 2021.

333 PDAT : Programme Directeur d'Aménagement du Territoire (2023)

Glossaire

Le glossaire ci-dessous est également disponible sur le site de Luxembourg Stratégie.

Backcasting (Planification à Rebours)

Méthode pour déterminer les étapes à entreprendre dans le but de faire advenir un futur escompté. Elle suppose de définir préalablement un futur désiré, d'identifier ce qui doit changer entre la situation présente et le futur désiré, de concevoir une chronologie qui échelonne les différentes étapes de changement et d'identifier et de gérer les facteurs clés internes et externes qui peuvent influencer sur la durée ou l'intensité de ces changements. Qui ou quoi sera indispensable dans le futur envisagé ? Quels seront les problèmes auxquels les usagers, les institutions ou la société seront confrontés et comment pourraient-ils être résolus ? Quelles opportunités se présenteront et comment celles-ci pourront-elles être exploitées ou matérialisées ?

Référence : European Foresight Platform, Backcasting

Bifurcations (et points de basculement/ Tipping Points)

En mathématiques, les bifurcations sont un cas particulier du phénomène général des points de basculements. Ces notions servent à décrire des systèmes complexes aux trajectoires d'évolution non-linéaires (les individus, les sociétés, les écosystèmes, le système du climat ou encore le système terrestre). Les points de basculement, points critiques ou tournants, surviennent lorsqu'une légère perturbation entraîne un changement majeur dans la trajectoire de développement ou dans l'état futur d'un système. Un cas classique de bifurcation sont les « jonctions » ou « intersections de sentiers » où, sous l'effet d'une légère pression, le système perd sa stabilité et doit opérer une transition abrupte vers un état alternatif. Il existe certains signes avant-coureurs : par exemple lorsqu'un système dynamique approche d'un tournant, il présente une variabilité accrue et tarde à se rétablir d'une perturbation. Anticiper ces tournants sert à éviter les évolutions préjudiciables ou à encourager des changements souhaitables.

Référence : Timothy M. Lenton (2020), Tipping positive change

« Carte imprévisible » (wild card et cygne noir/ black swan)

Dans le domaine des études prospectives, le terme de « carte imprévisible » désigne un événement peu prévisible mais aux conséquences extrêmes s'il avait lieu à court (et possiblement à long) terme. Pour être qualifié de carte imprévisible, un événement doit survenir rapidement et avec peu de signes avant-coureurs de sorte qu'il soit effectivement difficile de l'anticiper sauf en un sens très général. Des choses invraisemblables se produisent régulièrement. Il faut ainsi prévoir l'imprévisible ou en tout cas s'attendre à ce que des choses inattendues se produisent. Les cygnes noirs sont un cas particulier de carte imprévisible (comme les léopards blancs, les éléphants noirs ou les rhinocéros gris). Ils désignent des événements inattendus aux conséquences extrêmes et qui paraissent improbables jusqu'au moment où ils se produisent.

Références : Nassim N. Taleb (2007), The Black Swan, The Impact of the Highly Improbable

John L. Petersen (1999), Out of the Blue: How to Anticipate Big Future Surprises

CIFS (2020) Using the future; Copenhagen Institute for Future Studies, Scenario reports n°3 pp.32-34

Hypothèses

Postulats, suppositions ou conjectures par lesquelles l'imagination précède la connaissance pour expliquer ou prévoir la réalisation éventuelle de faits, pour en déduire des conséquences. Les scénarios d'anticipation s'obtiennent à partir d'un ensemble d'hypothèses, plus ou moins vraisemblables concernant l'évolution de diverses variables, qu'il s'agit d'explicitier pour les rendre plus opérantes. On peut par exemple parier sur (h1) un creusement ou (h2) sur une résorption des inégalités sociales. On peut s'attendre à ce que l'avenir proche soit caractérisé par (h1) l'urbanisation ou par (h2) l'exode urbain, par (h1) la poursuite d'un développement technologique *high tech* toujours plus intensif ou (h2) un essor des techniques artisanales *low tech*. On peut encore estimer que la raréfaction des ressources est un phénomène (h1) structurel ou (h2) conjoncturel, ou (h3) à mi-chemin entre les deux.

Référence : Jérôme Minonzio (2005), Une réflexion prospective, hypothèses et scénarios : quatre exemples

Innovation anticipative (et sa gouvernance)

Les disciplines telles que la prospective qui visent à appréhender l'avenir à partir de l'analyse des mégatendances, d'hypothèses, de valeurs et de visions du monde existantes sont qualifiées d'anticipatives. Les nouvelles solutions, actions ou politiques qui découlent des connaissances que ces disciplines génèrent et qui sont de nature à pouvoir influencer les valeurs collectives constituent l'ensemble des innovations anticipatives. Les structures et systèmes qui favorisent l'émergence d'innovations anticipatives concourent à la gouvernance de l'innovation anticipative.

Référence : OECD, [OPSI](#)

Littératie des futurs

Capacité de savoir comment imaginer le futur et de comprendre pourquoi cela est important. Le français dispose de deux notions : « avenir » (souvent associée au destin collectif) et « futur » (une catégorie temporelle). C'est cette dernière qui importe ici. Le futur n'existe qu'en tant qu'anticipation. La littératie dans ce domaine est une manière de saisir les sources d'espoirs et d'inquiétudes qui influencent l'anticipation. Elle permet d'augmenter la part délibérée des choix que nous faisons constamment afin de gérer plus efficacement l'incertitude et la complexité. En un sens, elle permet de coloniser « demain » avec les idées « d'aujourd'hui ». Lorsque ces exercices dépassent les calculs quotidiens, ils prennent les formes élaborées de la 'planification de scénarios' ou des 'tours d'horizon'.

Références : UNESCO, [Futures Literacy](#)

Nicklas Larsen et al. (2020), [What Is 'Futures Literacy' and Why Is It Important?](#)

Riel Miller (2020), [Transformer le futur: l'anticipation au XXIe siècle](#)

Zentrum für politisch Bildung, [Zukunft elo?](#)

Mégatendance

Force motrice dont les effets sont perceptibles dans le monde entier. Elle puise sa source dans le passé, elle est observable aujourd'hui et continuera à avoir un impact profond dans les années à venir. Typiquement, les mégatendances se caractérisent par un horizon de temps de 10 à 20 ans. Toutefois, leur analyse sert habituellement à informer la planification stratégique de moyen et de long termes pour les 5 à 50 prochaines années. Leur analyse permet d'identifier les continuités et les ruptures en distinguant différents rythmes de changement – progressifs ou radicaux.

Référence : Commission européenne, [The Megatrend Hub](#)

Méthode Delphi

Méthode d'enquête par questionnaire qui a pour objectif premier de faciliter la convergence d'opinions et de dégager des consensus sur certains thèmes grâce à la consultation d'experts. Formalisée en 1950 à la Rand Corporation, elle a ensuite été utilisée afin de soutenir l'élaboration de stratégies dans différents domaines ayant un caractère prospectif marqué. L'approche est itérative et évite la confrontation en préservant l'anonymat des participants. Les réponses justifiées apportées à un premier questionnaire ouvert par différents participants sont synthétisées et renvoyées à ces mêmes participants, en indiquant les tendances générales et particulières qui se dessinent. Chacun est invité à réagir en répondant à un deuxième questionnaire élaboré en fonction des premiers avis recueillis. La procédure est ainsi répétée jusqu'à obtenir une convergence satisfaisante des réponses.

Références : European Foresight Platform, [Delphi study](#)

EU Survey, [About the Online Delphi](#)

UK Government Office for Science, [Futures toolkit for policy-makers and analysts](#)

Modélisation intégrée

Un modèle est une représentation simplifiée d'un système qui met en relation ses parties et ses propriétés émergentes et rend compte des dynamiques (souvent non-linéaires) du système. La modélisation intégrée de l'économie repose sur sa quantification physique et intègre différentes hypothèses sur son évolution potentielle. Elle est également intégrée puisqu'elle combine la quantification macroéconomique (notamment financière et sociale lorsque cette dernière est possible) et physique (notamment énergétique, écologique et spatiale). Un modèle sert à effectuer des simulations, à produire des scénarios et à en déduire des recommandations.

Références : OECD, [Environment-economy modelling](#)

UNFCCC, [Integrated Assessment Models & Energy-Environment-Economy models](#)

The Shift Project, [modélisation énergie-climat-économie](#)

IIASA, [Integrate Assessment](#)

Prospective stratégique

Discipline qui explore, anticipe et façonne l'avenir, afin de contribuer à construire et à utiliser l'intelligence collective d'une manière structurée et systémique, en vue de mieux prévoir les évolutions à venir, d'élaborer des voies de transitions possibles et de résister aux chocs. La prospective est dite stratégique quand elle est intégrée dans l'élaboration des stratégies et politiques.

Références : Commission Européenne, [Prospective stratégique](#)
Futuribles, [La démarche prospective](#)
OECD, [Strategic Foresight for Better Policies](#)
OECD-OPSI, [Futures & Foresight](#)

Quantification physique

Nommer et mesurer le monde est une manière de raisonner sur lui. C'est un mode de connaissance et d'argumentation qui influence les conduites habituelles. C'est aussi une forme d'écriture qui se distingue à la fois de l'expression orale et de l'écriture narrative. Elle permet d'appréhender d'un coup d'œil, plutôt que pas à pas, la complexité d'un système et les relations entre ses parties. La quantification est dite physique par rapports aux quantités qu'elle mesure (p.ex. la consommation d'énergie, de sols ou d'eau, les émissions polluantes ou les emplois de l'économie, d'un secteur ou d'une entreprise particulière). Dans le cadre d'études prospectives, elle sert en particulier à caractériser la situation initiale et souhaitée d'un type d'activités afin d'identifier les leviers efficaces suivant leurs rapports coûts/bénéfices pour accompagner la transformer de cette activité.

Références : University of Leeds, [A Good Life For All Within Planetary Boundaries](#)
WU Vienna, [materialflows.net](#)
WU Vienna, [The Hotspot Analysis Tool for Sustainable Consumption and Production](#)
The Observatory of Economic Complexity (OEC)
Circle Economy, [Knowledge Hub](#)
United Nations Environment Programme (UNEP), [Inclusive Wealth Report 2018](#)
Eurostat, [Economy-wide material flow accounts](#)

Résilience

Notion dont la signification est débattue. En un sens, la résilience désigne la capacité d'un système à gérer, à répondre, à s'adapter et à se remettre d'une perturbation vécue, que celle-ci soit une tension latente ou un choc soudain. La notion a été développée pour servir l'analyse scientifique depuis le XVIII^e siècle avant qu'elle ne recouvre récemment les formes d'un impératif normatif dans l'agenda politique international. Elle implique le maintien des fonctions essentielles, de l'identité et des structures des systèmes considérés – ainsi que le bien-être dans le cas des systèmes sociaux ou la biodiversité dans le cas des écosystèmes. « La résilience est un attribut positif quand elle maintient une capacité d'adaptation, d'apprentissage et/ou de transformation » (IPCC, 2022, p.7, traduction par Luxembourg Stratégie). Ainsi, les notions de résilience et de durabilité, bien que distinctes, sont liées. Être résilient ne signifie pas seulement retrouver un état initial ou se diriger vers un nouvel état, mais bien aussi rester stable dans un environnement changeant.

Références : IPCC, [Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability](#)
IPCC, [Glossary](#)
Luxembourg Stratégie, [Resilience \(ODC, 2021: Ch.1\)](#)

Scénarios

Dans le contexte de la prospective, les scénarios sont des histoires, cartes ou images qui décrivent des futurs possibles. Ils tracent les contours du monde tel qu'il pourrait être demain. Les scénarios sont de différents types (possibles, plausibles, projetés, probables ou préférables) et souvent présentés à plusieurs et en petit nombre (3 à 6) pour s'adapter à notre capacité à traiter l'information. Ils sont élaborés suivant diverses méthodes, en recourant par exemple à des opinions expertes ou à la participation de groupes de parties prenantes plus élargis. Les scénarios n'ont pas de valeur intrinsèque. C'est leur construction et leur utilisation dans le dialogue stratégique qui importent. Ils servent à l'exploration (mieux comprendre les futurs défis), l'intervention (identifier les conditions nécessaires pour atteindre certains buts, estimer l'impact de politiques avant leur mise en œuvre) ou l'évaluation (mesurer l'écart entre objectifs futurs et résultats des politiques actuelles).

Référence : Futuribles, [La méthode des scénarios](#)

Signal faible (*weak signal*)

Ensemble de signes avant-coureurs qui contribuent à détecter suffisamment tôt des développements plus marqués. L'expression a été introduite durant les années 1970 par Igor Ansoff dans le domaine du management dans un contexte de choc pétrolier qui avait constitué pour beaucoup une surprise stratégique. Pour Ansoff un signal faible est principalement « une information d'alerte précoce, de faible intensité, pouvant être annonciatrice d'une tendance, d'une menace ou d'une opportunité ». Ce signal se renforce à mesure que de nouvelles informations deviennent connues. La 'faiblesse' du signal désigne la distance de l'information qu'il contient vis-à-vis du système de connaissances de ceux qui le perçoivent. La perception à temps de ces signaux et leur juste interprétation doivent permettre d'éviter la prochaine surprise stratégique.

Référence : Barbara L. van Veen et Roland Ortt (2021), [Unifying weak signals definitions to improve construct understanding](#)

Stratégie

Voie à travers une difficulté, approche pour surmonter un obstacle ou réponse apportée face à un défi. Pour le service public spécifiquement, la stratégie est, pour une part, la détermination des objectifs fondamentaux de long terme d'une organisation publique, l'adoption de lignes de conduite et l'allocation de ressources nécessaires pour atteindre ces objectifs. C'est, d'autre part, le plan d'action que la direction utilise pour orienter ses activités qui façonne la manière dont l'organisation emploie ses ressources, compétences et actifs. Une 'bonne' stratégie fournit un diagnostic d'une réalité complexe, définit une direction, des activités cohérentes et des responsabilités coordonnées pour atteindre ces objectifs, en adéquation avec les moyens préalablement identifiés comme étant disponibles.

Référence : David E. McNabb et Chung-Shing Lee (2020), [Public Sector Strategy Design](#)

Vision stratégique

Étape particulière de la planification stratégique, par laquelle une collectivité se dote d'une image globale de ce qu'elle souhaite devenir (sa vocation ou sa finalité) au terme d'un horizon de planification qui a été préalablement retenu. La vision guide la collectivité dans la gestion du changement qu'elle vise. Elle informe une stratégie de planification et de décision. En déterminant une cible, en la transmettant pour la partager et pour expliquer les étapes qui y conduisent, elle permet de traiter les enjeux à venir, de faire des choix, de résoudre des problèmes et de définir un langage commun en matière de développement collectif.

Référence : Zukunftsinstitut, [Vision](#)

Visioning (élaboration de vision)

Processus consistant à développer, de manière collective et inclusive, une représentation à long terme, réaliste, claire et inspirante de l'avenir souhaité par une majorité des parties prenantes pour guider les actions et décisions actuelles et ainsi influencer l'avenir. L'approche du visioning peut être analytique, se construire sur des entretiens, faire appel à la créativité et/ou émerger de groupes de travail.

Référence : UNDP (2022), [UNDP RBAP: Foresight Playbook](#), New York

Windtunnelling (policy stress-testing/ Test de résistance)

Méthode pour évaluer la robustesse de certaines orientations stratégiques ou options politiques face à des scénarios d'avenir afin de comprendre comment et jusqu'à quel point elles peuvent résister à une diversité de conditions extérieures. Comme dans une soufflerie, l'évaluation rend visible la manière dont certaines stratégies ou politiques se comporteraient dans telle ou telle condition. Des tests de résistance sont appliqués à certains choix pour comprendre dans quelle mesure ils resteront judicieux ou pourront devenir intenables. Dans des situations différentes d'aujourd'hui, ces choix mèneront-ils au succès visé ? Si oui, alors ils sont robustes. Sinon, il faut les adapter.

Références : UK Government Office for Science (2017) [The Futures Toolkit](#), pp-64-67
Copenhagen Institute for Future Studies (2020) [Using the future](#); Scenario reports n°3 pp.38-39

À propos de Luxembourg Stratégie

Luxembourg Stratégie est la direction du ministère de l'Économie en charge de la **prospective stratégique**. Elle produit des études prospectives (*foresight studies* ou *Zukunftsstudien*) pour les stratégies économiques. Cela passe par le développement collaboratif de **scénarios** de transition de l'économie luxembourgeoise pour 2050. Le but est de faciliter la cohérence des **stratégies** sectorielles du ministère de l'Économie entre elles et avec celles des autres ministères qui influencent l'économie, dans le but de contribuer à la transformation économique du pays vers plus de **résilience, inclusivité et compétitivité** pour les prochaines décennies.

Mis en place en mai 2021 et rattachée au Cabinet du ministre, Luxembourg Stratégie s'inscrit dans la continuité, comme l'extension de l'approche futuriste initiée en 2015 par l'étude stratégique de long terme sur TIR.

Luxembourg Stratégie est responsable d'une prospective stratégique collaborative orientée vers l'action et vers le devenir à long terme de l'économie nationale dans son ensemble. Elle fait aussi appel à des expertises prospectives spécifiques. Concrètement, ses missions, présentées dans l'énoncé approuvé par le Conseil de gouvernement (25 février 2022), sont les suivantes :



Inform. Eclairer l'action publique et aider ainsi à la prise de décision politique, en rapprochant les stratégies qui interagissent avec l'économie



Objectiver. Soutenir méthodologiquement la prospective stratégique et l'innovation anticipative mises au service des politiques publiques à visée économique



Scénariser. Concevoir, de manière itérative et participative, des scénarios 2050 de développement économique, reposant sur des hypothèses partagées, explicites et probabilisées



Matérialiser. Quantifier les flux physiques qui caractérisent la création de valeur économique par les entreprises: quelle est la situation de départ (2023) et la situation d'arrivée souhaitée (2050) en termes de consommation d'énergie, de matières, de sols ou d'eau, d'émissions polluantes ou d'emplois ? De là, quels sont les leviers efficaces en ressources à activer pour vivifier une production qui soit à la fois bas-carbone, créatrice d'emplois de qualité, respectueuse des ressources et des budgets disponibles ?



Modéliser. Contribuer à la modélisation intégrée du développement économique menée par le STATEC, c'est-à-dire une modélisation mêlant variables macroéconomiques, physiques, énergétiques, écologiques ou spatiales



Déliberer. Animer le Forum Luxembourg Stratégie en enrichissant le débat public par des études pluridisciplinaires et par des connaissances nouvelles, en contribuant à la littérature collective du futur, en promouvant un langage commun et en facilitant l'apprentissage mutuel

Remerciements de la part des auteurs

Ce travail est né de la volonté du Ministre de l'Économie de générer un nouveau regard prospectif sur l'économie des générations futures. Le présent exercice n'aurait pu aboutir sans un soutien politique de haut niveau.

Luxembourg Stratégie exprime sa sincère gratitude envers les institutions et les acteurs qui ont joué un rôle central dans l'élaboration de la Vision ECO2050. Leur engagement continu, leur expertise et leur investissement en temps et en ressources ont été essentiels pour mener ce projet à bien.

Nous remercions les représentants des ministères et administrations, des entreprises, des communes, des chambres professionnelles, des instituts de recherche et de la société civile qui ont apporté leur contribution précieuse tout au long du processus. Leur implication a été une source d'inspiration, de motivation et d'innovation qui a renforcé la qualité, le caractère systémique et la pertinence de ce document. Une mention spéciale revient à nos collègues du ministère de l'Économie pour leur relecture patiente et leurs apports réguliers qui ont enrichi ce travail de leur connaissance pratique des préoccupations des entreprises.

Nous tenons également à exprimer notre appréciation envers les équipes de l'Administration des bâtiments publics, de l'Institut National des Langues de Luxembourg, de l'Athénée de Luxembourg et du ministère de la Digitalisation qui ont facilité l'organisation des ateliers du Groupe de travail et la Campagne publique ECO2050.

Enfin, nous sommes reconnaissants envers toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à cette entreprise collective, et nous espérons que ce document stratégique constituera un jalon important pour les actions futures.

COPYRIGHT

Les opinions exprimées dans cette publication sont celles des auteurs et ne correspondent pas nécessairement à celles du ministère de l'Économie ou du gouvernement.

Pour toute requête ou suggestion, contactez Luxembourg Stratégie.

Ministère de l'Économie**Luxembourg Stratégie**

19-21, Boulevard Royal, L-2449 Luxembourg

luxstrategie@eco.etat.lu

Septembre 2023

Cette publication est téléchargeable sur le site :

luxstrategie.gouvernement.lu

Conseil en prospective | 4sing.com

Conception visuelle | duktor.lu

Cartographie | spatialforesight.eu

Merci de citer cet ouvrage comme suit :

Luxembourg Stratégie (2023), Vision ECO2050 :

L'avenir de l'économie luxembourgeoise à l'horizon 2050

Principaux sites et activités économiques spécialisés et localisés

-  Zones d'activités économiques existantes et projetées (PSZAE 2021)
-  Cluster de construction durable/bois/artisanat (Wertstoffhaff, Gadderscheier, Esch Handwerkerhaff shared space, ...)
-  Zone pilote multifonctionnelle Foetz
-  Zone pilote géologique ou topographique (anciennes carrières, mines, bassins pour matériel de construction, entreposage/stockage énergie/eau/matériel etc.)
-  Recherche et développement
-  Parc audiovisuel et des télécommunications
-  High Tech/Clean Tech Parc
-  Space Parc
-  Automotive Campus
-  Entreprise(s) multinationale(s) majeure(s)
-  Secteur financier et FinTech
-  Infrastructures pour cloud et data
-  HE:AL HealthTech Campus (physique et virtuel)
-  Hub logistique (ferroviaire, aérien, fluvial, routier) et logistique inverse

Principaux réseaux nécessaires à l'économie

-  Chemin de fer
-  Autoroutes
-  Réseau cyclable (travail/transport)
-  Tram rapide
-  Réseau de transport de gaz naturel/H₂ vert
-  Réseau principal de fibre optique
-  Réseau de transport d'électricité
-  Coopération transfrontalière (PDAT)

Occupation et utilisation du sol

-  Rivière
-  Zones de protection sanitaires du barrage
-  Lac
-  Agglomérations urbaines/ cyclo-logistique urbaine (PDAT)
-  Centres de développement et d'attraction (CDA)
-  Densité d'emplois/km²

Cartographie prospective de la Vision ECO2050

Les transitions digitale, énergétique, climatique et écologique seraient achevées à travers le continent et le pays en 2050. Au Luxembourg, les principes de la Vision – autonomie, innovation, efficacité, circularité, sobriété, décarbonation, redondance, adaptation – s'appliqueraient à toute l'activité économique. Cette idée est représentée par le **symbole des 3 flèches vertes** en forme de cercle, présent sur la carte 2050 et absent sur la carte 2023.

En 2050, la production et la consommation de biens et services seraient par défaut circulaire et compatible avec le climat et la nature. Conformément au PDAT, l'activité économique aurait réduit son empreinte foncière et se grefferait davantage sur les surfaces déjà construites. Les ZAE seraient devenues plus multifonctionnelles, circulaires et denses. Les friches industrielles seraient recyclées. La logistique deviendrait plus granulaire. La coopération transfrontalière serait davantage stimulée (flèches grises plus fortes en 2050 que sur la carte 2023), avec des frontières plus floues et organiques. Les services seraient nomades et l'activité économique se décentraliserait davantage (autoconsommation d'énergie, télétravail, les communes en tant qu'acteurs économiques, ...).

L'expérimentation territoriale gagnerait en importance (p. ex. zone pilote pour matériaux et stockage, zone transfrontalière, construction durable, vivre avec les extrêmes climatiques, simplification des règles urbanistiques etc.). L'agriculture durable et innovante, urbaine ou péri-urbaine se généraliserait.

Pour répondre à la croissance démographique, les villes, qui représenteraient un meilleur ratio emplois/résidents, se seraient densifiées et se verticalisées.

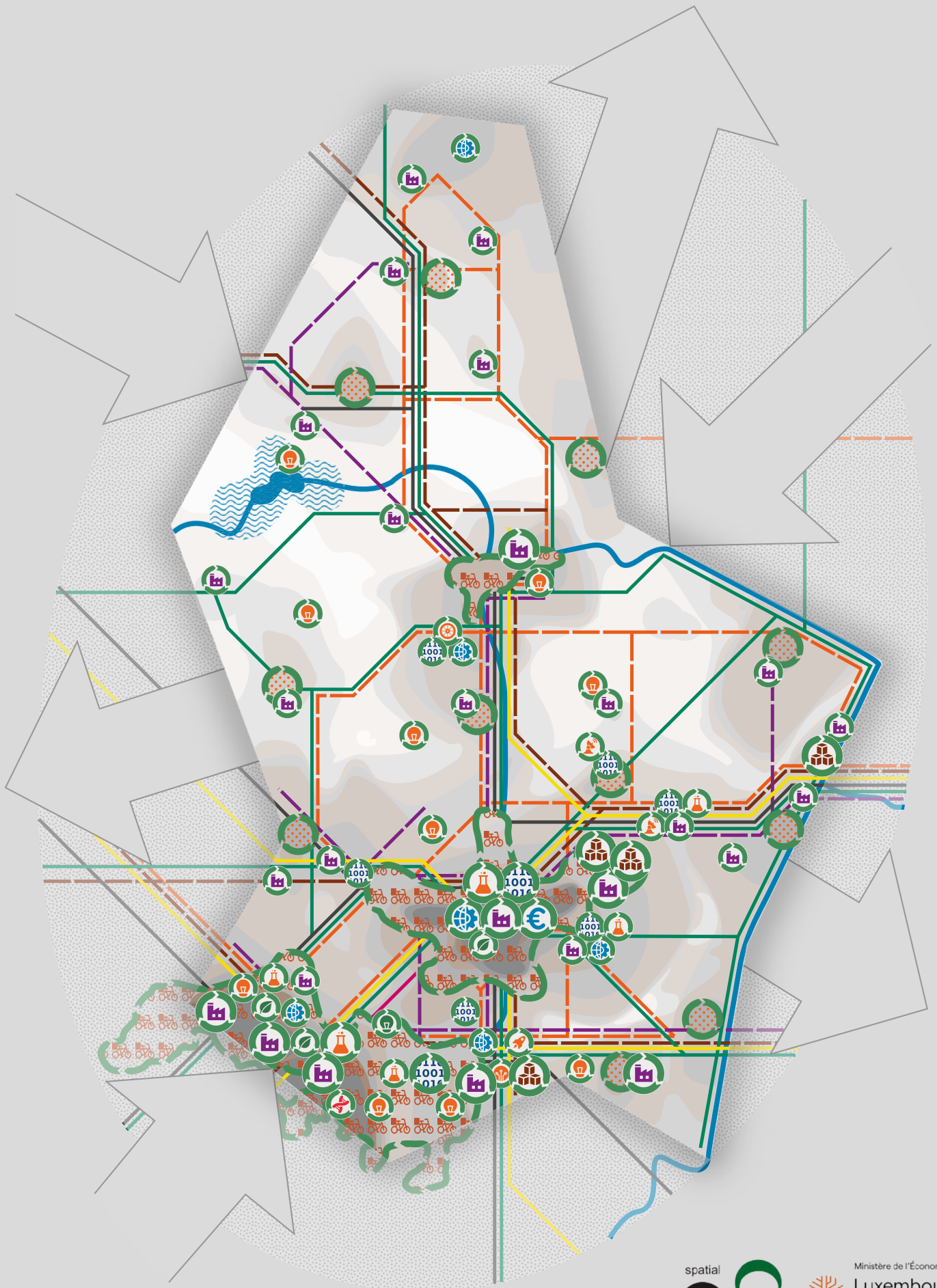
D'un point de vue économique, deux mouvements spatiaux co-existeraient donc :

- une **spécialisation territoriale** suivant les avantages comparatifs du lieu, avec certaines ZAE dédiées à de nouvelles branches, toujours en lien avec la R+D (TIC, *clean tech*, *health tech*, *adaptation tech*, construction durable, *space tech*, etc.). Cette spécialisation est représentée par les icônes d'activités économiques localisées entourées par le symbole des 3 flèches vertes en forme de cercle.
- une **généralisation territoriale** des principes ECO2050 à toute l'activité économique du territoire, indépendamment de l'endroit et pouvant dépasser les frontières. Des illustrations de cette généralisation peuvent être :
 - o Services carbone – potentiellement dans le tissu construit ou nomades, partout où il y a accès internet/fibre
 - o Industrie carbone – potentiellement dans tous les espaces dédiés à l'industrie
 - o Artisanat carbone – potentiellement dans tous les espaces dédiés à l'artisanat
 - o Economie circulaire – potentiellement pour toutes activités et tous sites économiques

Cette généralisation est indiquée sur la carte par le **symbole des 3 flèches vertes en forme de cercle** entourant les agglomérations et CDA.

ECO2050

Vision des activités économiques 2050





2050



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG
Ministère de l'Économie