

Note descriptive – *Doughnut Economics* pour le Luxembourg

De nombreux cadres d'analyse ont été développés afin de mesurer et comparer la résilience entre les économies nationales en mettant l'accent sur un jeu de critères quantitatifs spécifiques. En guise d'exemples, on peut notamment citer les *Sustainable Development Goals* (ONU), l'Indice de Développement Humain ajusté à l'Indice des Pressions Planétaires (Programme des Nations Unies pour le Développement), les EU Resilience dashboards (Commission européenne), le *Transitions Performance Index* (Commission Européenne), le *Better Life Index* (OCDE), le *Happy Planet Index*, le *Biodiversity Performance Index*, les *Sustainable Development Performance Indicators*, etc. Parmi l'ensemble de ces cadres analytiques, celui du « doughnut » est remarquable par le fait qu'il s'appuie à la fois sur le concept de limites planétaires¹ et celui des besoins sociaux fondamentaux. En effet, le cadre du doughnut tel que développé par Kate Raworth² intègre non seulement les recherches du *Potsdam Institute for Climate Impact Research* et du *Stockholm Resilience Center* sur les frontières planétaires³, mais aussi des considérations sur le respect de besoins sociaux fondamentaux. La principale vertu du doughnut est probablement de faciliter la visualisation de l'antagonisme existant entre la capacité d'une société à, d'une part, assurer des fondations sociales solides à sa population et, d'autre part, contenir son empreinte environnementale à des dimensions responsables.

Des doughnuts ont été réalisés pour de nombreux pays⁴ ainsi qu'à l'échelle globale, mais pas encore formellement pour le Luxembourg à cause des difficultés méthodologiques liées à sa faible surface. Toutefois, lors de la conférence Luxembourg Stratégie du 17 octobre 2022, Andrew Fanning du *Doughnut Economic Action Lab* avait déjà présenté *The Doughnut Framework in Economics and its Application to the Case of Luxembourg*. L'illustration présentée était statique et obtenue pour des données correspondant à des années parfois différentes d'un critère à l'autre. Venant compléter cette première ébauche, Luxembourg Stratégie vient de produire la première illustration dynamique du doughnut pour le Grand-Duché sur deux décennies (chaque année entre 2000 à 2020). Dans chacune de ces illustrations, les sources de données (précisées en annexe) sont cohérentes au sein d'une même année tout en permettant une comparaison à travers le temps pour chaque critère pris individuellement.

En guise d'illustration, la Figure 1 reproduit les doughnuts pour chacune des années 2000, 2010 et 2020 - même si le doughnut réalisé par Luxembourg Stratégie est dynamique (réalisé sur base annuelle et exporté sous format .GIF) et peut être consulté sur demande.

¹ Voir (i) Johan Rockström et al. (2009), *Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity, Ecology and Society*, ainsi que (ii) Steffen et al. (2015) *Planetary Boundaries: Guiding Human Development on a Changing Planet*, Science.

² Voir Kate Raworth (2017), *A Doughnut for the Anthropocene: Humanity's Compass in the 21st Century*, The Lancet Planetary Health

³ Ce dernier a estimé en 2023 que l'humanité a déjà franchi 7 des 9 frontières planétaires (sur les 8 qui sont quantifiées). Pour plus d'informations, voir Johan Rockström et al. (2023), *Safe and just Earth System boundaries*, Nature, 619(7968), pp. 102–111

⁴ Des visualisations pour plus de 150 pays sont disponibles par exemple sur <https://goodlife.leeds.ac.uk/>

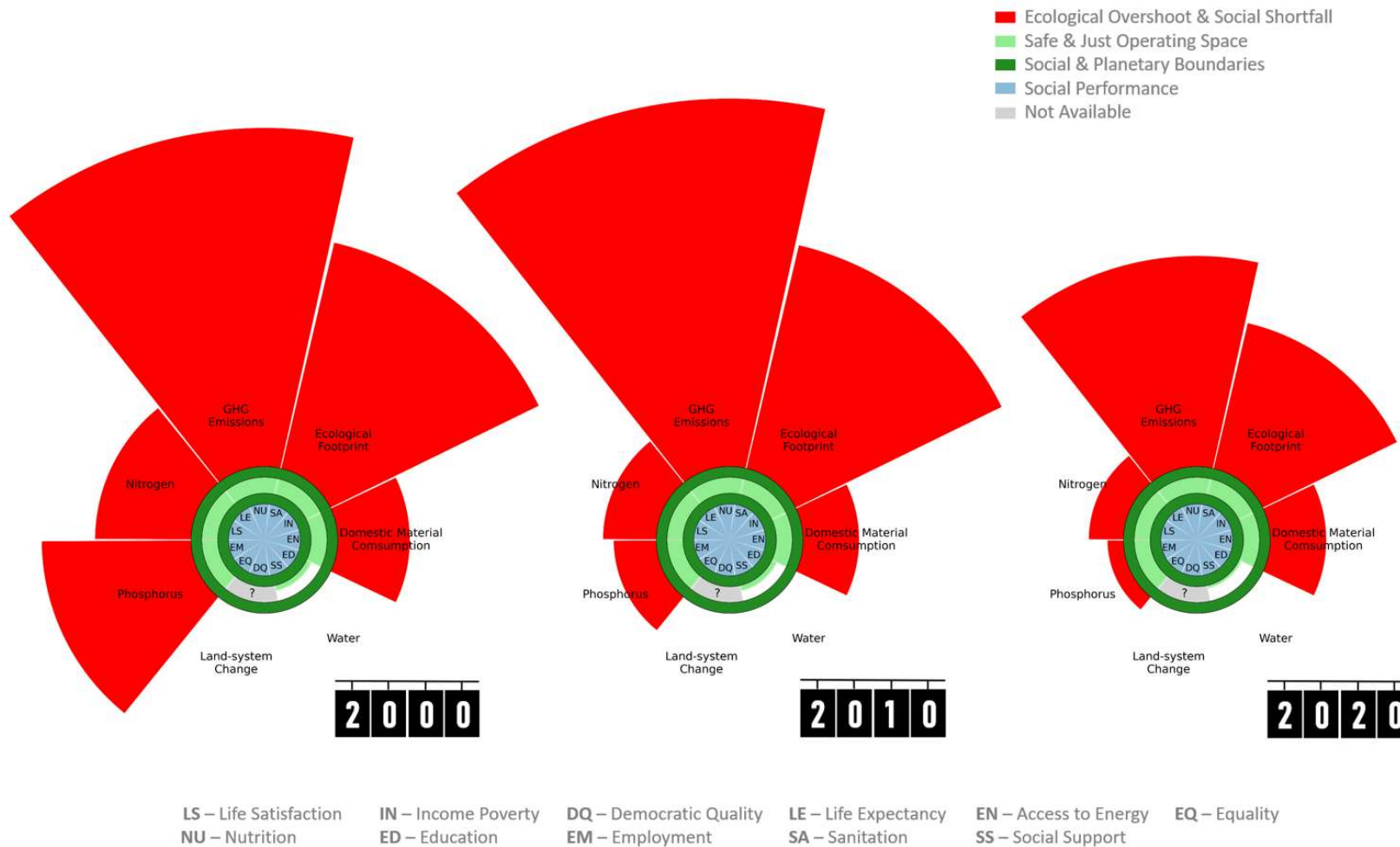


Figure 1 – Trois « doughnuts » à 10 ans d'intervalle pour le Luxembourg. Ces représentations sont amenées à évoluer avec l'accessibilité des données sous-jacentes. Les critères extérieurs sont mesurés pour le territoire et par résident.

À travers la Figure 1, il apparaît que le Luxembourg assume pleinement sa capacité à assurer de solides fondations sociales à sa population (voir l'intérieur du doughnut qui reste entièrement bleu à travers le temps et pour chacun des critères retenus)⁵, mais aussi que cette prouesse est réalisée conjointement à plusieurs dépassements de frontières biophysiques (voir les secteurs rouges qui débordent parfois très largement des frontières représentées en vert). En guise de comparaison, la Figure 2 reproduit le doughnut obtenu à l'échelle planétaire et le compare avec celui obtenu pour la même méthodologie pour le Luxembourg. A l'échelle globale, de nombreuses dimensions sociales sont déficitaires, mais les dépassements des frontières planétaires sont beaucoup moins sévères que pour le Luxembourg. Ces observations renforcent l'idée selon laquelle le respect des limites biophysiques se ferait au détriment du respect des conditions sociales. Dans ce contexte, la question pertinente pour le Luxembourg est de savoir dans quelle mesure nous sommes capables - en tant que société - de faire diminuer notre empreinte sans pour autant sacrifier le haut niveau de performance atteint sur le plan social.

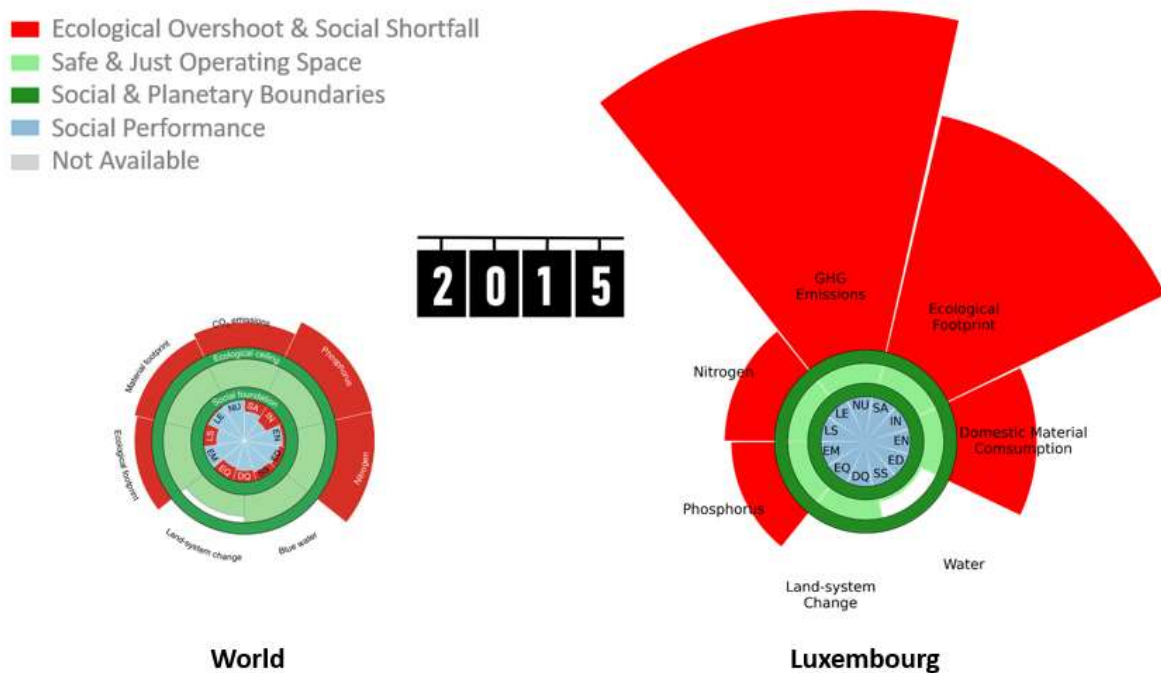


Figure 2 – Doughnuts pour l'année 2015 à l'échelle mondiale (à gauche)⁶ et pour le Luxembourg (à droite)

De prime abord, la Figure 1 semble fournir une réponse optimiste à cette problématique puisque, les différents indicateurs environnementaux mesurant l'empreinte par résident sur le territoire luxembourgeois ont évolué

⁵ Pour être exact, de très légers franchissements (typiquement moins de 1% et au plus de 2,8%) sont mesurés pour les critères d'éducation (de 2003 à 2007), de soutien social (en 2014) et d'emploi (en 2015, 2016 et 2020). La représentation graphique permet à peine le discernement de ces situations isolées et peu représentatives.

⁶ Source: Fanning et al. (2021), *The social shortfall and ecological overshoot of nations*, Nature Sustainability, vol. 5, p.26-36, (Figure 1b).

favorablement (c'est-à-dire à la baisse) depuis 2000 et en particulier depuis 2010, sans pour autant que les seuils concernant les fondements sociaux n'aient été transgressés.

Deux remarques doivent néanmoins venir tempérer cette interprétation naïve. Tout d'abord, sur la période de 2000 à 2020, la population résidente a augmenté de 1.9% par an (soit +45% au total), venant mécaniquement « diluer » une partie des empreintes biophysiques (comme p.ex. les émissions liées à l'industrie ou la consommation d'engrais azotés et phosphatés liée à l'agriculture). Ensuite, le formalisme du doughnut étant conçu pour faciliter les comparaisons internationales, les seuils retenus pour les différents critères sociaux sont probablement peu appropriés pour apprécier les spécificités du Luxembourg (par exemple, le seuil concernant l'espérance de vie se situe à 74 ans alors que cet indicateur est actuellement près de 10 ans plus haut pour le Luxembourg). De plus, la nature binaire du franchissement ou non d'un seuil est trop réductrice, car elle n'informe pas suffisamment sur la dynamique suivie au fil du temps et risque ainsi de masquer une éventuelle détérioration ou amélioration sur la période considérée.

Pour remédier à ces limitations, la Figure 3 (pour les indicateurs biophysiques) et la Figure 4 (pour indicateurs sociaux) représentent l'ensemble des critères synthétisés par le doughnut sous forme de graphiques en base 100 pour l'an 2000, de sorte à pouvoir mieux comparer leurs évolutions individuelles et respectives.

L'inspection du premier graphique (Figure 3) montre que, entre 2000 et 2020, la population résidente au Luxembourg croît plus vite que chacun des critères biophysiques. Le seul critère à avoir augmenté temporairement (à savoir entre 2000 et 2012) plus vite que la population est celui des émissions de gaz à effet de serre. De fait, celles-ci ont cru très rapidement pour culminer en 2005, avant de rediminuer pour atteindre en 2020 à peu près leur niveau de départ en 2000. Cette observation permet donc bien de nuancer l'apparente « amélioration » dans le temps de l'empreinte environnementale du Grand-Duché, puisque celle-ci est systématiquement soutenue par un effet comptable en lien avec la population résidente qui grandit.

Dans l'absolu, et net de tout effet lié à la population, il apparaît que seuls trois critères sur les six qui sont quantifiés à travers le temps⁷ ont vu une forte réduction en volume physique, à savoir la consommation d'engrais phosphatés (-65%), d'engrais azotés (-27%) et d'eau (-20%). En revanche, la consommation intérieure des matières (+22%) a augmenté de manière conséquente, portée par une forte augmentation des importations de minéraux non-métalliques utilisés dans les secteurs du bâtiment et de l'industrie (voir l'analyse spécifique « **Note descriptive – Consommation intérieure de matières au Luxembourg** » de Luxembourg Stratégie et mise à jour en janvier 2024). Enfin, on peut observer que les émissions de GES (-6%) et l'empreinte écologique (-1%) ont évolué presque systématiquement au-dessus de leurs niveaux de départ et d'arrivée pour finalement rester quasiment stables entre 2000 et 2020.

Dans l'ensemble, c'est donc un bilan plus mitigé qui s'impose quant à la capacité de l'économie luxembourgeoise à diminuer son empreinte en volume.

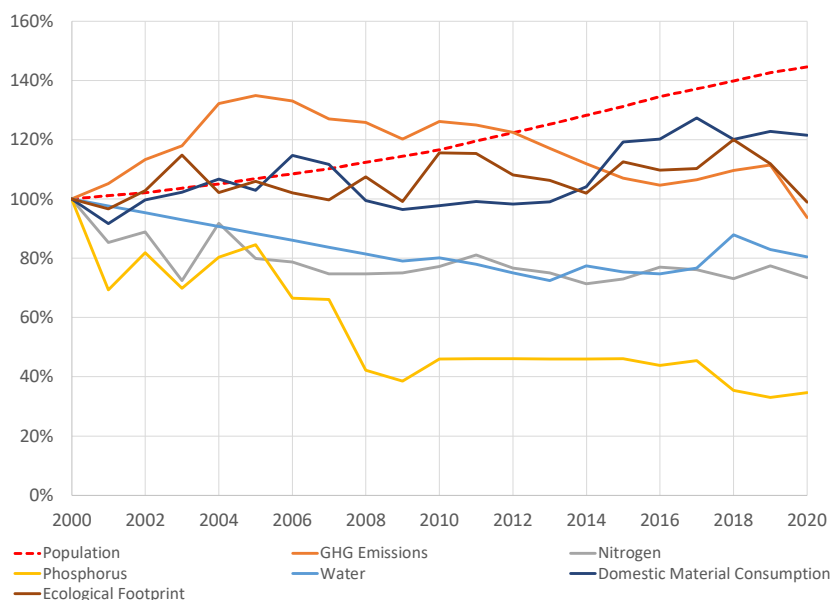


Figure 3 – Évolution des indicateurs biophysiques du doughnut (base 100 en 2000)

⁷ Pour l'indicateur du « Land-system Change », seule une valeur isolée (pour 2015) est disponible dans la littérature scientifique. Voir l'annexe pour plus de détails.

De manière similaire, le second graphique (Figure 4) permet de nuancer l'interprétation hâtive du doughnut selon laquelle le Luxembourg n'aurait pas besoin de se soucier davantage du respect de ses fondements sociaux puisque la sphère intérieure du doughnut ne manifeste quasiment aucun franchissement de seuil. En effet, même si ces indicateurs ont évolué soit positivement (comme l'éducation (+9%), la satisfaction de vie (+6%) ou l'espérance de vie (+5%)), soit en restant parfaitement stables (nutrition, hygiène publique, pauvreté de revenu, accès à l'énergie) ou relativement stables (emploi (-5%), qualité du système démocratique (-5%)⁸, soutien social (-4%) et égalité (-4%)), c'est la dynamique générale de certains de ces indicateurs qui invite à la prudence. Ainsi par exemple, la Figure 4 met en évidence une lente mais régulière détérioration pour les indicateurs relatifs à l'emploi ou à l'égalité.

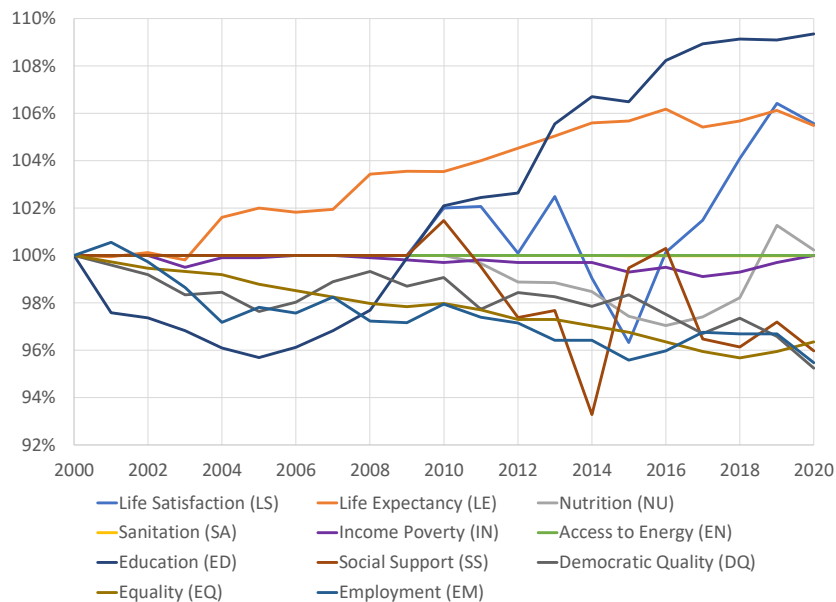


Figure 4 – Évolution des indicateurs sociaux du doughnut (base 100 en 2000)

⁸ Comme mentionné en annexe, cet indicateur dépend des sous-indicateurs dits de « voice and accountability » et de « political stability ». La Figure 6 en annexe montre que le léger déclin de cet indicateur est essentiellement dû à celui mesurant la stabilité politique, puisque celui-ci est en berne alors que celui de « voice and accountability » reste quasiment stable sur la période considérée.

Approche production (territoriale) vs. consommation

Il est important de préciser que les données derrière chacun des indicateurs biophysiques sont comptabilisées pour les activités ayant lieu sur le seul territoire luxembourgeois (approche dite « de production »), c'est-à-dire que l'empreinte associée à l'ensemble de la chaîne de fabrication d'un produit importé puis consommé au Luxembourg n'est pas prise en compte. Sous cette approche comptable alternative (dite « de consommation »), l'empreinte biophysique de l'économie luxembourgeoise serait encore bien supérieure.

L'exemple de l'eau est éloquent sur ce point : alors que la Figure 1 suggère qu'aucune tension n'existe par rapport à l'empreinte en eau du Luxembourg, cette conclusion est à relativiser⁹ par le fait qu'une part importante de cette empreinte est indirecte et cachée comptablement dans des produits manufacturés à l'étranger (comme, p.ex., les produits textiles). A cause de la forte ouverture de l'économie du Grand-Duché, la comptabilisation de son empreinte environnementale est particulièrement sensible aux conventions utilisées et une prochaine étape de travail pourrait consister en la réalisation d'un doughnut du Luxembourg sous l'approche de consommation – probablement plus pertinente pour notre économie fortement dépendante des importations de biens et matières.

Effet lié aux frontaliers

A l'inverse, le fait que seule la population résidente soit prise en compte dans la normalisation des critères biophysiques est susceptible de grossir artificiellement l'empreinte représentée par le doughnut. En effet, le fait de ne pas pouvoir prendre en compte (faute de données) la part de l'empreinte liée aux frontaliers attribue de manière erronée un surplus de consommation aux résidents luxembourgeois.

Ce surplus de consommation est pourtant bien visible, par exemple en termes de consommation d'eau pour la ville de Luxembourg (voir Figure 5)¹⁰, raison pour laquelle l'Administration de la gestion de l'eau dimensionne les capacités des stations d'épurations en comptabilisant l'équivalent d'un demi résident supplémentaire par travailleur transfrontalier.

⁹ Notons que la représentation de l'indicateur en eau sous la Figure 1 ne permet pas de rendre compte des effets imprévisibles du changement climatique qui tangent entre excès et déficits hydriques dans le temps et l'espace.

¹⁰ „Bedingt durch die rund 200.000 Grenzgänger sowie die zahlreichen nationalen Pendler, die vorwiegend an den Arbeitstagen (blaue Punkte in der Abbildung 2) zum Trinkwasserverbrauch in Luxemburg-Stadt beitragen, jedoch nicht an den Wochenenden (rote Punkte in der Abbildung 2), unterliegt der Trinkwasserverbrauch innerhalb einer Woche großen Schwankungen. Im Durchschnitt steigt der Trinkwasserverbrauch an den Arbeitstagen um etwa 1/5 gegenüber dem Verbrauch an den Wochenenden.“ (Voir 3^e plan de Gestion de l'eau réalisé en 2022 par le Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable, p. 37.)

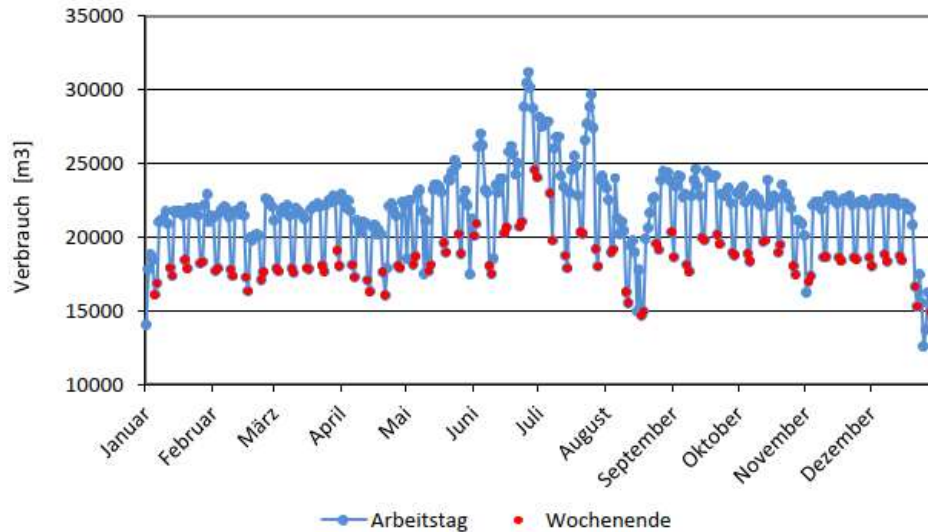


Figure 5 – Consommation d'eau de la ville de Luxembourg en 2019. (Illustration tirée du 3^e plan de Gestion de l'eau réalisé en 2022 par le Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable.)

En guise de conclusion, on peut retenir que bien que l'approche du doughnut soit illustrative des pressions environnementales et des besoins sociaux d'une économie donnée de manière très synthétique et par le biais d'une poignée d'indicateurs seulement, elle ne permet pas à elle seule de rendre compte de toutes les dimensions pertinentes et de la complexité du sujet. Par exemple, en poursuivant sur le thème de l'eau, l'indicateur de la consommation en eau ne permet pas d'apprécier la qualité des cours d'eau ou de la réserve et recharge en eau des nappes phréatiques. Ainsi, le mérite du doughnut est avant tout de stimuler la réflexion et les prises de conscience sur le sujet, de manière relativement harmonisée d'un territoire à un autre ou, comme proposé ici, à travers le temps pour le même territoire.

Annexe : source des données par indicateur clé

Les données utilisées dans le cadre de la présente note ont été consultées et mises à jour le 15 janvier 2023 par le biais des sources énumérées et référencées ci-dessous. Pour chaque indicateur, le seuil retenu pour établir le doughnut est également indiqué.

Indicateurs sociaux

- **Satisfaction de vie** (*Life satisfaction, LS*)

Les [données](#), mesurées de 0 à 10 sur l'échelle de Cantril (sans unités), sont issues du « World Happiness Report » fourni par « Our World in Data » et correspondent au niveau de satisfaction des individus avec la vie qu'ils mènent.¹¹ Le seuil (minimum) retenu par Fanning et al. (2021) est de 6.5 sur 10, ce qui est légèrement inférieur au niveau retenu usuellement pour décrire un « haut » niveau de satisfaction (à savoir 7 sur 10).

- **Espérance de vie** (*Life expectancy, LE*)

Les [données](#) correspondent à l'« espérance de vie à la naissance, total (années) » fournie par la base de données *World Bank Open Data* de la Banque mondiale. Le seuil (minimum) retenu par Fanning et al. (2021) est de 74 années.

- **Nutrition** (*Nutrition, NU*)

Les [données](#) correspondent à l'indicateur de « food supply » tel que complié par la *Food and Agriculture Organization* des Nations Unies.¹² Cet indicateur mesure l'apport calorique moyen journalier par personne. Le seuil (minimum) retenu par Fanning et al. (2021) est de 2700 kcal par jour par personne, quand les besoins physiologiques d'un adulte varient entre 2100 et 2900 kcal par jour suivant son âge, son sexe, sa masse corporelle, son niveau d'activité physique ou sa santé.

- **Hygiène publique** (*Sanitation, SA*)

Les [données](#) sont issues du relevé fourni par « Our World in Data » et correspondent au pourcentage de la population qui a accès à des infrastructures assurant l'hygiène publique. Le seuil (minimum) retenu par Fanning et al. (2021) est de 95%.

- **Pauvreté de revenu** (*Income poverty, IN*)

Les [données](#) correspondent à la « proportion de la population vivant avec plus de 6.85\$ par jour » telle que fournie par la base de données *World Bank Open Data* de la Banque mondiale. Le seuil (minimum) retenu par Fanning et al. (2021) est de 95%.

- **Accès à l'énergie** (*Access to energy, EN*)

¹¹ Les données sont manquantes pour les périodes 2000-2008 et 2020-2021. Pour la réalisation du Doughnut, la première plage est remplacée par une estimation correspondant à la valeur de 2009. La seconde plage est interpolée linéairement. Dans les deux cas, les valeurs disponibles suggèrent que l'indicateur pour le Luxembourg reste relativement éloigné du seuil critique, si bien que l'imputation proposée semble raisonnable et sans conséquences pour l'interprétation des résultats.

¹² Les données sont manquantes pour la période 2000-2009. Pour la réalisation du Doughnut, cette plage est remplacée par une estimation correspondant à la valeur de 2010. Les valeurs disponibles suggèrent que l'indicateur pour le Luxembourg reste relativement éloigné du seuil critique, si bien que l'imputation proposée semble raisonnable et sans conséquences pour l'interprétation des résultats.

Les [données](#) correspondent à la « proportion de la population ayant accès au réseau électrique » telle que fournie par la base de données *World Bank Open Data* de la Banque mondiale. Le seuil (minimum) retenu par Fanning et al. (2021) est de 95%.

- **Éducation** (*Education, ED*)

Les [données](#) correspondent à la proportion de personnes inscrites à l'école secondaire par rapport à la population en âge d'être inscrite en secondaire (mesure, dite « brute », pouvant ainsi dépasser les 100%), telle que fournie par la base de données *World Bank Open Data* de la Banque mondiale. Le seuil (minimum) retenu par Fanning et al. (2021) est de 95%.

- **Soutien social** (*Social support, SS*)

Les [données](#) correspondent à la proportion de personnes ayant la possibilité, en cas de besoin, de recourir à de l'aide d'amis ou de membres de la famille et sont issues du « World Happiness Report » fourni par « Our World in Data ». ¹³ Le seuil (minimum) retenu par Fanning et al. (2021) est de 90%.

- **Qualité du système démocratique** (*Democratic quality, DQ*)

Les [données](#) sont issues de la série de « World Governance Indicators » de la Banque mondiale sous forme de moyenne arithmétique des indicateurs intitulés « voice and accountability » et « political stability », recalibrée de sorte à obtenir un résultat sur une échelle de 0 à 10 (sans unités). ¹⁴ Les évolutions de ces deux composantes ainsi que celle de l'indicateur composé (DQ) sont représentées (avant recalibration) sur la Figure 6 de manière relative avec une base 100 pour l'an 2000. Le seuil (minimum) retenu par Fanning et al. (2021) est de 7 sur 10.

¹³ Les données sont manquantes pour la période 2000-2008. Pour la réalisation du Doughnut, cette plage est remplacée par une estimation correspondant à la valeur de 2009. Avec pour exceptions les années 2014, 2021 et 2022, les valeurs disponibles suggèrent que l'indicateur pour le Luxembourg reste relativement éloigné du seuil critique, si bien que l'imputation proposée semble raisonnable et sans conséquences pour l'interprétation des résultats.

¹⁴ Les données sont manquantes pour l'année 2001. Pour la réalisation du Doughnut, cette valeur est interpolée linéairement. Les valeurs disponibles suggèrent que l'indicateur pour le Luxembourg reste relativement éloigné du seuil critique, si bien que l'imputation proposée semble raisonnable et sans conséquences pour l'interprétation des résultats.

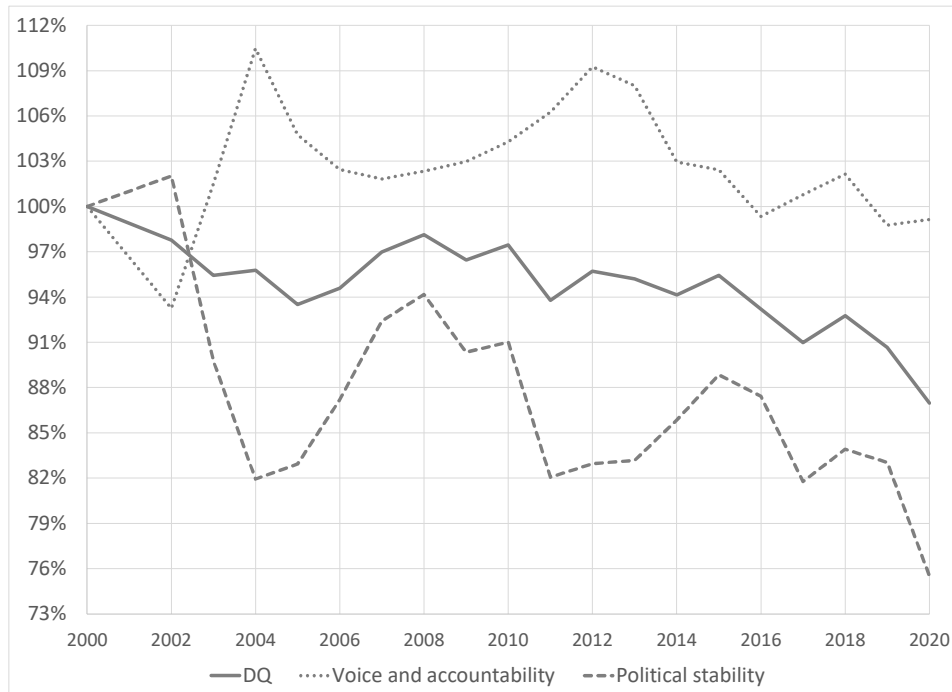


Figure 6 – Évolution de l'indicateur DQ (avant recalibration sur une échelle de 0 à 10) et de ses deux composantes (base 100 en 2000)

- **Égalité (equality, EQ)**

Les [données](#) correspondent à la quantité 1 moins la valeur du coefficient de Gini et sont issues de la « Standardised World Income Inequality Database » (version 9.5). Pour mémoire, le coefficient de Gini est une mesure de la répartition de la richesse au sein d'une population donnée, avec une égalité parfaite décrite par la valeur 0 et une inégalité parfaite par 1. Le seuil (minimum) retenu par Fanning et al. (2021) est de 0.7 (sans unité).

- **Emploi (employment, EM)**

Les [données](#) correspondent à la proportion de la population active n'étant pas au chômage, telle que déduite du taux de chômage fourni par la base de données *World Bank Open Data* de la Banque mondiale. Le seuil (minimum) retenu par Fanning et al. (2021) est de 94%.

Indicateurs biophysiques

- **Population résidente**

Les [données](#) sont issues du décompte « Population totale, luxembourgeoise et étrangère selon le sexe » fourni par la base de données LU'STAT sous le code B1100 et correspondent au niveau de population résidente atteint au 31 décembre de chaque année. Aucun seuil n'est fixé pour cette grandeur, qui est exclusivement utilisée à des fins de normalisation de chacune des grandeur biophysique qui suit.

- **Utilisation d'engrais phosphatés (Phosphorus)**

Les [données](#) sont issues du décompte « Consommation d'engrais chimiques » fourni par la base de données LU'STAT sous le code D2112 et correspondent au niveau d'utilisation d'engrais phosphatés (P_2O_5) exprimés en tonnes d'éléments nutritifs. Le seuil (maximum) retenu par le LIST¹⁵ est de 0,89 kg de phosphore par personne et par an.

- **Utilisation d'engrais azotés** (*Nitrogen*)

Les [données](#) sont issues du décompte « Consommation d'engrais chimiques » fourni par la base de données LU'STAT sous le code D2112 et correspondent au niveau d'utilisation d'engrais azotés exprimés en tonnes d'éléments nutritifs. Le seuil (maximum) retenu par le LIST¹⁶ est de 8,9 kg d'azote par personne et par an.

- **Consommation en eau** (*Water*)

Les [données](#) correspondent aux volumes de « Retraits annuels d'eau douce, total (milliards de mètres cubes) » fournis par la base de données *World Bank Open Data* de la Banque mondiale. Le seuil (maximum) retenu par le LIST¹⁷ est de 574 mètres cubes d'eau par personne et par an.

- **Émissions de GES** (*GHG Emissions*)

Les données sont issues de l'annexe 1 de la 26^e édition du rapport auprès de la convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (UNFCCC) au *Common Reporting Format* (CRF) concernant le Luxembourg. Les émissions comptabilisées excluent les émissions liées à l'aviation et à l'utilisation des terres, leur changement d'affectation et à la foresterie. Le seuil (maximum) retenu par le LIST¹⁸ est de 1,6 tonnes d'équivalent CO_2 par personne et par an.

- **Empreinte écologique** (*Ecological footprint*)

Les [données](#) correspondent à l'empreinte écologique mesurée en unités d'hectare global (gha) et sont issues du *Global Footprint Network*. Cet indicateur mesure en quelque sorte la surface naturelle nécessaire pour soutenir les activités économiques, par exemple en fournissant les matières premières ou en assurant l'absorption des rejets. Le seuil (maximum) retenu par Fanning et al. (2021) est de 1,6 gha par personne.

- **Consommation intérieure des matières** (*Domestic Material Consumption*)

La consommation intérieure des matières (CIM) mesure la quantité de matières utilisée par une économie nationale sur une période donnée. Elle correspond au solde entre (+) les matières extraites, récoltées et importées et (-) les matières exportées. Pour une revue détaillée de la CIM sous ses différentes catégories matérielles (minéraux non métalliques, biomasse, produits énergétiques fossiles, métaux et déchets pour traitement final) ainsi que sous ses composantes d'extraction, importation et exportation, voir la « **Note descriptive – Consommation Intérieure de Matières au Luxembourg** » de Luxembourg Stratégie (mise à jour en janvier 2024). Les [données](#) sont issues des « Comptes des flux de matière (en 1.000 tonnes) » fournis par la base de données

¹⁵ Voir Gibon et Hitaj (2022), « Summary of Doughnut Economics used in Luxembourg in Transition », notes de l'entrevue avec Luxembourg Stratégie.

¹⁶ Idem.

¹⁷ Idem.

¹⁸ Idem.

LU'STAT sous le code E2703. Le seuil (maximum) retenu par le LIST¹⁹ est de 7,2 tonnes de matière par personne et par an.

- **Changement d'utilisation des sols (*Land-system change*)**

L'indicateur de « land-system change » mesure la quantité de matière organique qui est assimilée par les activités humaines (concept de « embodied Human Appropriated Net Primary Production »). Exprimée en unités de tonnes d'élément carbone, cette grandeur est un indicateur de pression humaine sur la biodiversité dans la mesure où il mesure la part de production primaire qui est extraite du cycle naturel du carbone et n'est donc plus disponible pour la nature. Suivant l'approche adoptée par Fanning et al. (2021), les données²⁰ sont extraites pour le Luxembourg de l'étude scientifique produite par Kastner et al. (2015)²¹ et le seuil (maximum) retenu est de 2.400 kg de carbone par personne et par an.

¹⁹ Idem.

²⁰ Les données sont uniquement disponibles pour l'année 2015. Pour la réalisation du Doughnut, l'absence généralisée de données ne permet pas d'imputation et l'indicateur reste non quantifié (voir zones grises dans la représentation du doughnut).

²¹ Kastner, Erb et Harberl (2015), "Global Human Appropriation of Net Primary Production for Biomass Consumption in the European Union", *Journal of Industrial Ecology*, vol 19, number 5, pages 825-836.