

Une vision pour le Luxembourg - Europe, Terre

Luxembourg in Transition, Consultation internationale urbano-architecturale et paysagère
Autorité contractante : Ministère de l'Énergie et de l'Aménagement du Territoire

StudioPaolaViganò (mandataire)

epflausanne - Habitat Research Center (coordinateur scientifique)

uclouvain - creat, loci

metabolism of cities asbl

idea strategische & economische consulting nv

serge ecker, artiste indépendant

Le 04.01.21

#1

Pouvoir Adjudicateur :

Le gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg
Ministère de l'Énergie et de l'Aménagement du Territoire
Département de l'Aménagement du Territoire

Mandataire :

StudioPaolaViganò (*Milan / Bruxelles*)

Corso di Porta Ticinese, 65
20123 Milano
+39 02 894 093 58
studiobrussels@studiopaolavigano.eu
+32 2 350 82 26
<http://www.studiopaolavigano.eu/>

Sous-traitants :

- Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse
Habitat Research Center (coordinateur scientifique de l'équipe)
- Université Catholique de Louvain, Belgique
Centre de Recherche et d'Études pour l'Action Territoriale
Faculté d'Architecture, d'ingénierie architecturale, d'urbansime
- Metabolism of Cities asbl, Bruxelles, Belgique
- Idea Strategische&Economsische Consulting NV, Bruxelles, Belgique
- Serge Ecker, Artiste indépendant, Differdange, Luxembourg

RAPPORT

I.

5 Prémisses

6 *Métriques et visions du monde*

II.

9 La transition au Luxembourg : 4+1 paradoxes

10 *L'échelle du Luxembourg*

12 *Le paradoxe de l'énergie*

14 *Le paradoxe de l'alimentation*

16 *Le paradoxe de l'inégalité*

18 *Le paradoxe de l'eau potable*

III.

21 Les métriques de la transition : trois visions du monde.

22 *Vers une neutralité CO2. Trois visions du monde.*

24 *Approche méthodologique, les émissions de CO2 comme paramètre*

26 *Cradle-to-Cradle (C2C)*

34 *De-growth (DEG)*

42 *Deep Ecology (DEEP)*

IV.

51 Conclusions

52 *Decoupling*

54 *Croissance, consommation, bonheur: decoupling*

ANNEXE I - Atlas de la transition

ANNEXE II - Méthodologie

I

PREMISSES

Ce document présente « le cadre méthodologique du projet de transition, ayant vocation à démontrer l'efficacité des méthodes et outils nécessaires pour rendre un projet de territoire compatible avec l'objectif de la transition écologique » (cahier des charges p. 47).

La transition écologique, pour le Luxembourg et sa région fonctionnelle, se caractérise ici par deux objectifs, d'« être décarboné et décarbonant » et « résilient face au changement climatique ». Ce travail considère à la fois la méthodologie et les prémisses de son opérationnalité, c'est-à-dire la capacité à transformer, accompagner le territoire dans la transition. Les actions proposées, schématiquement illustrées sur le territoire, en partant de l'objectif de neutralité carbone, intègrent aussi les stratégies face au changement climatique (qui pourront être explicitées et développées dans les phases suivantes de la consultation). Traiter une condition globale, celle de la transition, par un territoire précis avec une surface limitée et situé au cœur de l'Europe, c'est l'enjeu de cette contribution. Le déploiement de la méthode n'est qu'un début.

Les objectifs européens pour la transition (Green Deal européen, neutralité carbone en 2050) sont connus et partagés car ratifiés par le Grand-Duché et les pays qui lui sont limitrophes (France, Allemagne, Belgique dans l'Europe des 27). Il s'agit alors d'envisager les métriques de la transition en lien avec des visions du monde (ensemble des représentations métaphysiques, physiques et sociales qui orientent l'action des êtres humains), outils capables dans leurs dimensions projectuelles, de mettre en débat le chemin de la transition, qui lui n'est pas partagé et reste en quête de légitimité, moins scientifique que politique et sociétale. Les réductions de consommation et d'émissions, imposées par le Covid, par exemple les -27% de demande énergétique pour le secteur tertiaire des banques en Mars-Avril 2020 par rapport aux mois précédents (Luxembourg Gouvernement/Creos), permettent d'éprouver, le temps de cette crise, assez prolongée, le choc des évolutions dans les styles de vie et le fonctionnement de la société.

Le gouvernement luxembourgeois a aussi pu mettre en œuvre une politique qui allie amélioration du cadre de vie et réponse au changement climatique, notamment à travers la mise en place de subsides pour la fourniture d'énergie photovoltaïque (+ 42% d'augmentation de production électrique solaire par rapport à 2019). Aussi, une nouvelle taxe carbone s'adressant à tous les Luxembourgeois mais aussi aux frontaliers vient d'être mise en place, en cette nouvelle année 2021. Elle soutient le Grand-Duché dans ses objectifs : « L'ambition nationale de réduire nos émissions de gaz à effet de serre de -55% d'ici 2030, passe par cet effort collectif. » (Claude Turmes, Ministre de l'Énergie et de l'Aménagement du territoire, wort.lu).

Prémisses :

Métriques et visions du monde

Objectifs de la transition : Terre, Europe, Luxembourg

Le Grand-Duché de Luxembourg ainsi que sa région fonctionnelle, transfrontalière et attractive, est en pleine mutation physique et sociale. Nous l'avons rapidement esquissé dans notre candidature : sa population se renouvelle tous les trente ans, son paysage se transforme en relation aux cycles naturels et productifs qui se superposent. Une courbe met en relation les cycles de développement de la région fonctionnelle du Luxembourg et leur métabolisme, les consommations d'énergie et de ressources. De nouveaux cycles de vie s'annoncent, qui appellent à révéler les espaces et les potentiels. A partir du thème de la transition et de ses métriques, nous nous approchons du territoire dans sa construction matérielle pour explorer les visions du monde qui œuvrent à la mise en place de la transition. Dans cette première phase, à partir de l'objectif central de réduction à zéro des émissions de CO₂, nous développons trois visions du monde qui abordent le projet de transition par des stratégies orientées par chaque vision différente.

Les trois visions que nous proposons dessinent un horizon vaste qui nous semble représentatif des choix possibles liés à la transition écologique, sociétale et économique. Cradle to cradle, De-Growth et Deep Ecology expriment les variations possibles autour de la construction d'un territoire durable. Et nous voulons tout ça « situé ». Déjà dans cette première phase, le territoire luxembourgeois est pris en considération. Même avec des toutes premières hypothèses, des schématisations spatialisées montreront les potentiels et les limites du Luxembourg et sa région fonctionnelle à une adaptation profonde des technologies, des styles de vie et des relations aux ressources.

Nous n'oublions pas la position du Luxembourg au sein de l'Europe qui a déjà proposé une feuille de route ambitieuse avec le Green Deal. Inutile de surcharger les objectifs climatiques de variantes, quand les choix possibles ont déjà été étudiés et traités d'un point de vue scientifique et socio-politique. Nous y reviendrons à la conclusion de ce premier rapport, au moment où il s'agira de comprendre si les objectifs EU ont intégré le problème de l'accélération du changement climatique en cours et pris en compte les durcissements prévus à l'horizon 2030, discutés en ce moment par l'UE.

Le Luxembourg, de son côté, a aujourd'hui des ambitions et des objectifs considérables, mais qui se heurtent à la réalité physique de sa structure territoriale et économique, ce qui génère, dans ce petit pays, une série de paradoxes liés à la transition (voir partie II Paradoxes).

La transition équivoque : une approche de la métrique

L'objectif de notre contribution n'est pas celui d'arriver à un choix aisé, à la sélection facile de l'une des trois visions, ce qui ferait abstraction des conditions concrètes de production de l'espace. Il s'agit plutôt, et surtout dans cette première phase, d'explicitier les choix possibles, au nom d'une durabilité qui n'est pas neutre en termes d'impacts sur notre vie et qui ne peut pas être pensée qu'à partir d'un point de vue, notre vision du monde, en relation à notre propre confiance à la technologie, à la nature, au système économique et sociale. Ceci, en extrême synthèse, notre approche de l'étude et de cette première phase.

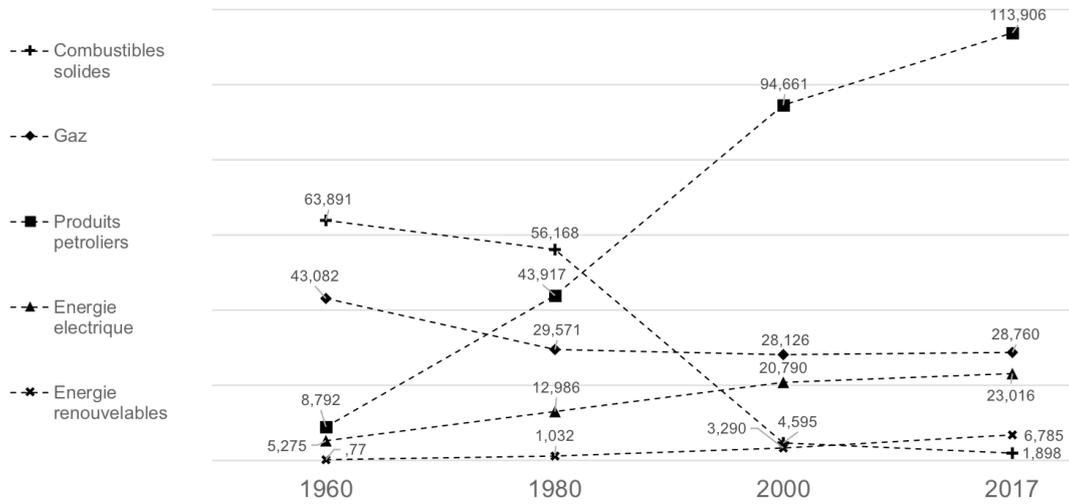
De là, il ressort une position à propos du thème de la métrique. La multiplication des points de vue, typique d'une société démocratique, pluraliste et plurielle, nous invite à ne pas chercher immédiatement la « métrique » résolutive, mais plutôt à comparer les « métriques » en relation aux visions qui les supportent. Nous sortons de l'univoque et traitons de l'équivoque, ce qui se prête à plusieurs interprétations. Si les trois visions partagent l'objectif commun de mitigation du changement climatique (ne pas dépasser le réchauffement de + 1,5°) à l'horizon 2050, leurs stratégies et les actions qui en découlent diffèrent grandement. La mesurabilité et la mesure, isolées des considérations plus larges sur comment nous voulons vivre ensemble, seraient l'expression technocratique d'un projet écologique et social qui aurait perdu son sens. D'autre part, sur la direction à prendre, il est inévitable d'arriver à une discussion sur les valeurs.

Une première spatialisation des stratégies et des actions liées à chaque vision permettra de « situer » le projet de transition dans la région fonctionnelle. Il sera possible d'évaluer, même schématiquement, les impacts principaux sur les transports, l'énergie, les formes d'urbanité. Il sera aussi possible de comprendre les difficultés, en poursuivant une seule vision, à suivre une seule piste ou point de vue (voir partie III : Les métriques de la transition : trois visions du monde).

Dans les conclusions (partie IV), l'intérêt de l'exercice sera celui de révéler leur capacité de réagir au défi du long et du court terme. Les synergies, compatibilités et potentiels pourront être développés et discutés, nous l'espérons, lors du premier débat et au cours de la deuxième phase. Avec une attention à l'horizon 2030, les conclusions permettent aussi de se rapprocher de l'entité de la transformation, alimentée dans la troisième partie par « l'Archive des imaginaires de la transition » (in progress) pour construire les nouvelles images de la transition au Luxembourg.

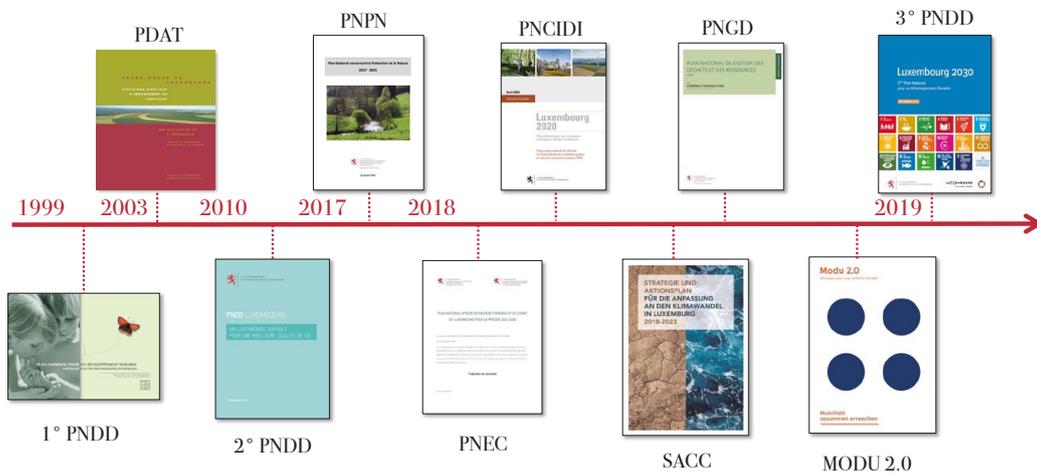
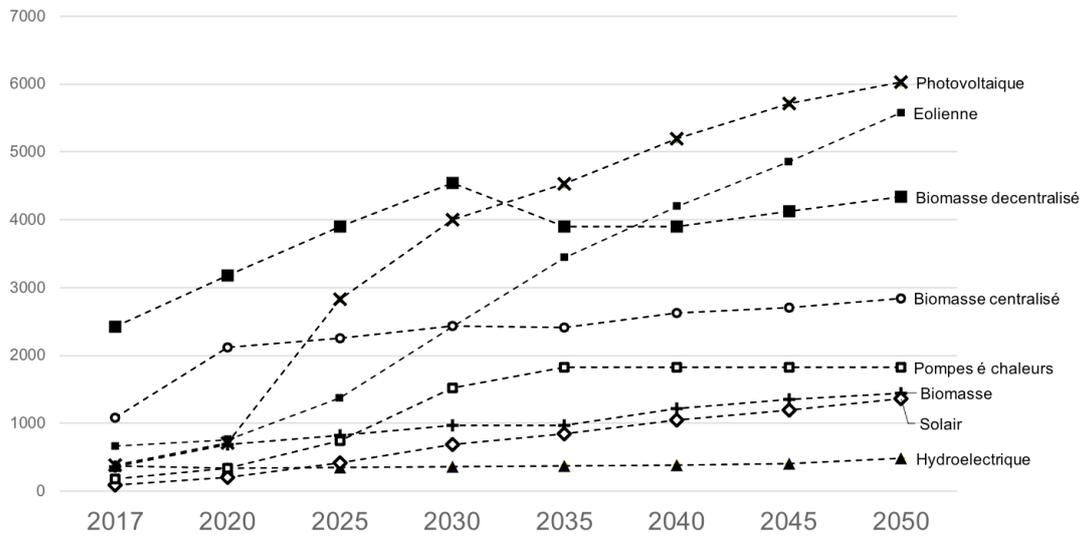
Consommation d'énergie (TJ)

Source: STATEC



Production d'énergie renouvelable (TJ)

Source: PNEC Luxembourg



II

LA TRANSITION AU LUXEMBOURG : 4+1 PARADOXES

Proposition qui va contre le sens commun, ou plutôt, d'après son utilisation plus récente, proposition qui contient des contradictions apparentes ou réelle, le paradoxe nous semble un outil pertinent à mettre œuvre la complexité de la transition au Luxembourg, et donc la distance, sidérale, entre ambitions affichées et réalité de terrain. Évidemment, les 4+1 paradoxes que nous traitons n'ont rien de définitif. Les quatre premiers sont plus directement liés à la question des émissions de CO₂, tandis que le dernier, dédié à la ressource de l'eau, élargit le spectre des préoccupations. Ces paradoxes peuvent être renversés par des actions et des engagements concrets. Toutefois, ils sont importants pour bien saisir l'effort nécessaire pour combler l'écart entre la situation actuelle et le futur proche (horizon 2030) et plus lointain (horizon 2050).

Imaginer la transition écologique au Luxembourg et dans sa région fonctionnelle signifie donc dépasser les paradoxes suivants :

1. Le paradoxe de l'échelle : Il est en effet déjà compliqué de définir de quel territoire nous nous occupons. Considérons-nous uniquement les émissions directes du petit pays du Luxembourg (donnée disponibles), de sa région fonctionnelle (données partiellement disponibles), ou des régions qui émettent « pour compte » du Luxembourg, c'est-à-dire des émissions indirectes ? Comment renverser le paradoxe et les conflits d'un territoire qui ne peut pas se penser seul dans un projet commun de transition ?

2. Le paradoxe de l'énergie : Le Luxembourg importe le 95% de son énergie depuis l'étranger¹. La plus vaste part de l'énergie consommée l'est sous forme de combustibles fossiles, ce qui met le secteur du transport au premier plan et souligne l'urgence d'imaginer des mobilités différentes à l'échelle de la région fonctionnelle, au-delà d'un simple transfert massif à la voiture électrique. La dépendance énergétique fait du Luxembourg un cas exceptionnel : s'il est possible de renverser les pourcentages (et encore faudra-il traiter de la question : à quelle échelle ?), alors le Luxembourg pourra se proposer comme pays pilote du projet de la transition.

3. Le paradoxe de l'alimentation : les vastes surfaces agricoles du Luxembourg (50% du territoire) ne visent pas à couvrir les objectifs de sécurité alimentaire de la population luxembourgeoise, qui importe de l'étranger 95% de ses fruits et légumes. Toutefois, les indications de la FAO parlent d'un pays qui potentiellement pourrait fournir le 78% des apports calorifiques nécessaires à sa population².

4. Le paradoxe de l'inégalité : le Luxembourg est un pays riche, soutenu par une forte croissance économique, mais celle-ci provoque une boucle de rétroaction entre augmentation du PIB, immigration, renchérissement, polarisation entre le Luxembourg et ses régions voisines, et une divergence inattendue entre riches et pauvres. Si le risque de polarisation sociale n'est pas maîtrisé avec des politiques adaptées (surtout dans les secteurs du logement et de l'occupation du sol), le projet de la transition ne se réalisera pas, car il n'est concevable que s'il bénéficie à toute la population.

+1. Le paradoxe de l'eau : Ce dernier paradoxe est moins directement lié aux émissions, mais il met en évidence le risque de surexploitation du réseau hydrologique et le thème de la qualité de l'eau, établissant des relations avec le paradoxe de l'alimentation.

L'échelle du Luxembourg

La présence de la frontière fausse les calculs de consommation de CO₂ et catalyse les flux.

Le Luxembourg est un petit pays au centre de l'Europe, aux frontières ouvertes sur le monde. C'est avec ce prisme constant qu'il faut observer les chiffres de consommation du pays. L'on ne saurait le considérer comme un circuit fermé : le bassin versant d'emplois du pays – la *région fonctionnelle* – possède déjà une superficie supérieure à celle du Grand-Duché.

En comparaison avec d'autres pays plus vastes, l'économie luxembourgeoise est caractérisée par sa forte spécialisation, et par sa forte dépendance de l'étranger – région fonctionnelle et au-delà. Ainsi, si la division par deux de la consommation en tonnes de CO₂ par habitant depuis 1960 est principalement due au déclin de l'industrie sidérurgique, elle a été pour la grande part remplacée par une industrie tertiaire gourmande en importation de produits venant de l'étranger et de carburant nécessaire au transport³ (fig. 2). Ainsi, plus de la moitié de la consommation en CO₂ du Luxembourg est à l'heure actuelle externalisée. En se détournant de la production et de la transformation de matières premières, le Luxembourg délègue à d'autres la responsabilité de produire plus proprement.

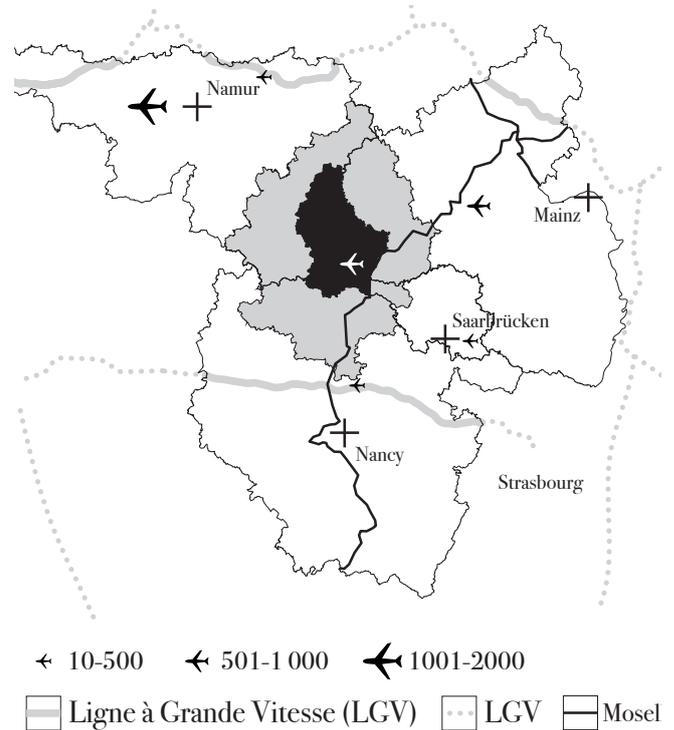


FIGURE 1 : Accessibilité de la Grande Région

En effet, l'aéroport de Luxembourg s'est spécialisé dans le transport de marchandises, par le biais de l'entreprise Cargolux Airlines International S.A. – la plus importante en Europe. La Grande Région prend quant à elle en charge la majorité des flux de transport aérien privé, en deux endroits : l'aéroport de Charleroi et celui de Frankfurt-Hahn. On y observe la présence d'une majorité de companies aériennes bon marché.

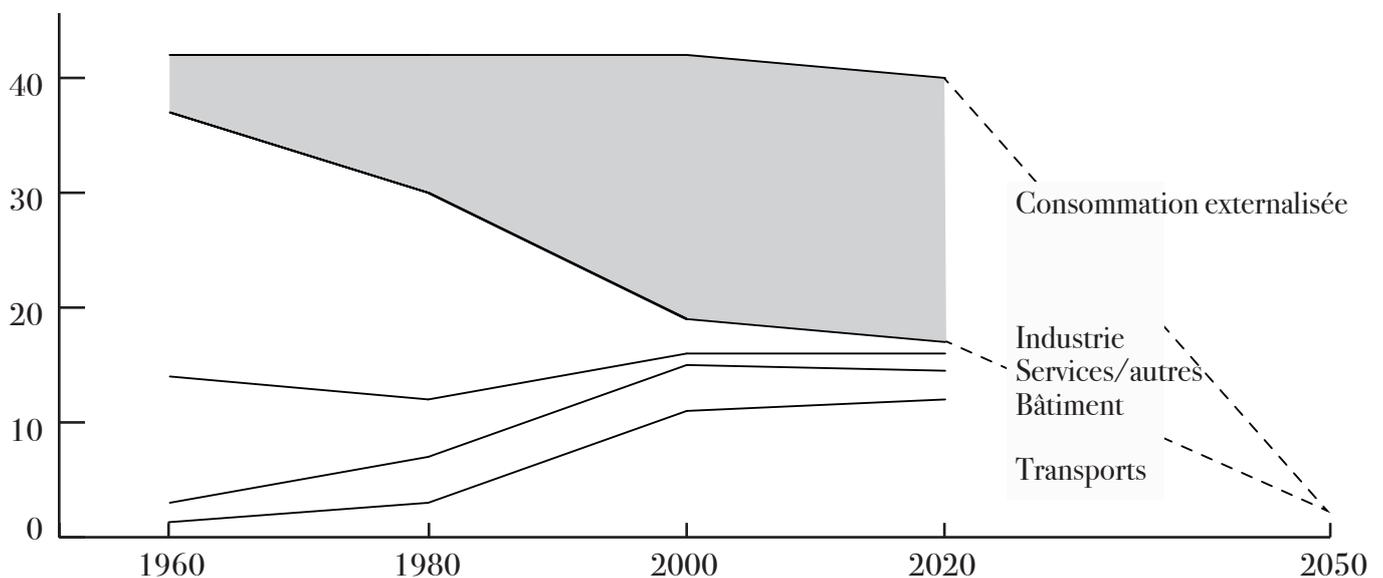


FIGURE 2 : Consommation en tonnes de CO₂ par hab., par secteur

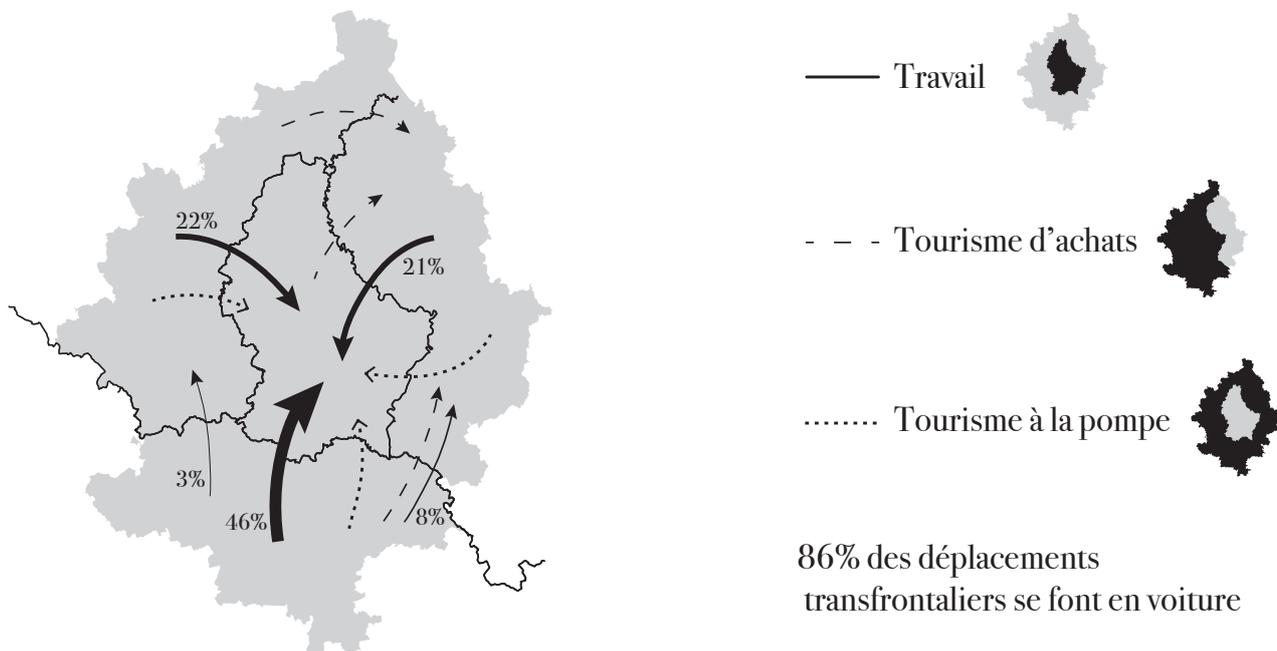


FIGURE 3 : Appels d'air et flux transfrontaliers

Il est à noter que, bien que le territoire du Grand-Duché soit facilement accessible depuis la région foncionnelle, il ne l'est pas depuis les principales métropoles européennes environnantes. En effet, les lignes ferroviaires à grande vitesses internationales contournent le Luxembourg.

À l'échelle de la région fonctionnelle, une grande part des flux de transports transfrontaliers peuvent être attribués aux phénomènes suivants, qui résultent à la fois de la forte polarisation socio-économique entre le Luxembourg et son bassin d'emploi, et de politiques fiscales différentes :

- la grande distance entre le domicile et le lieu de travail ;
- le tourisme d'achats, majoritairement vers l'Allemagne ;
- le tourisme à la pompe, vente de combustible fossile, faiblement taxé au Luxembourg (fig. 3).

86% de ces déplacements, fruits de dynamiques transfrontalières complexes, se font en véhicule motorisé individuel⁴. Le flux de travailleurs est responsable d'environ 16% des émissions de CO₂ du pays. tandis que le «tourisme à la pompe» est estimé à l'origine de 22% du dioxyde de carbone rejeté dans l'atmosphère au sein du territoire du Grand-Duché⁵. Ces chiffres rendent compte de l'impact

majeur des émissions dues à la vente de carburant aux transporteurs routiers. Même en ne comptabilisant pas les émissions imputables à ces flux, la consommation par habitant du Luxembourg reste l'une des plus élevée au monde, et sa ventilation par secteurs, différente de celle des émissions territoriale, illustre la vasteté externalisée⁶ (fig. 4) .

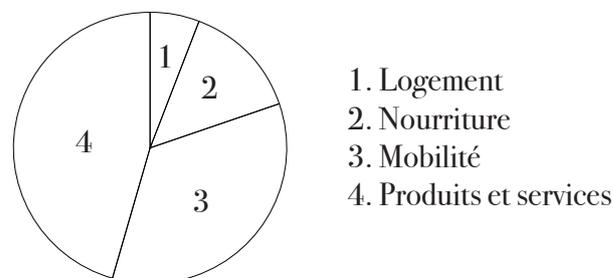


FIGURE 4 : Répartition de l'empreinte écologique d'un résident au Luxembourg, en tonne de CO₂ par habitant.

Le paradoxe de l'énergie

Le secteur des transports domine la consommation d'énergie au Luxembourg, entraînant une dépendance dont il sera difficile de s'affranchir.

La consommation énergétique constitue le plus important poste d'émissions de CO₂ du Luxembourg. De cette énergie, 95% en est importée depuis l'étranger⁷.

Comme relevé au point précédent, la majorité de l'énergie est utilisée pour le transport. Elle est importée sous forme de combustible fossile transformé (essence, diesel, etc.), puis consommée par les résidents, les frontaliers et les acheteurs étrangers venus profiter d'une taxation avantageuse (privés, mais aussi entreprises de transport).

Notons aussi que l'essence, le diesel, le mazout et le kérosène entrent dans le pays sous forme raffinée. L'empreinte réelle de ces pratiques est donc sous-estimée dans les illustrations suivantes (fig. 5).

13% de l'énergie est consommée sous la forme d'électricité, dans son immense majorité importée depuis l'Allemagne. Cela signifie donc qu'à l'heure actuelle, environ 50% de l'électricité est d'origine renouvelable. Faiblement taxée, l'électricité consommée au Luxembourg est l'une des moins chères d'Europe.

L'énergie effectivement produite au Luxembourg, 2,45 TWh en 2018, représente 5% du total, et est en majorité issue de la combustion de biomasse et de déchets (80%). Le reste est généré à partir d'énergie solaire, éolienne et hydroélectrique.

En 2018, le Luxembourg n'a pu atteindre son objectif de 11% de part d'énergie renouvelable que grâce à une compensation statistique avec d'autres pays de l'UE ayant excédé leur propre objectif⁸.

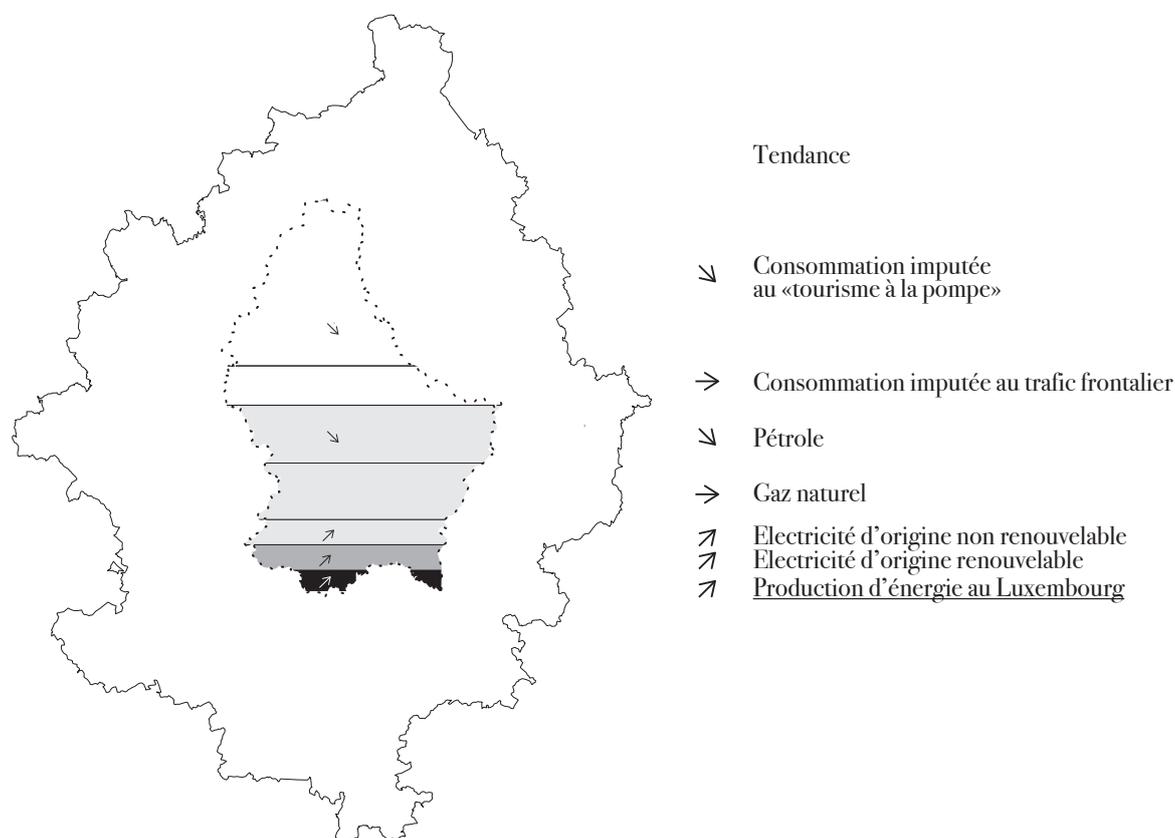


FIGURE 5 : Type et provenance de l'énergie consommée au Luxembourg en 2019, en %

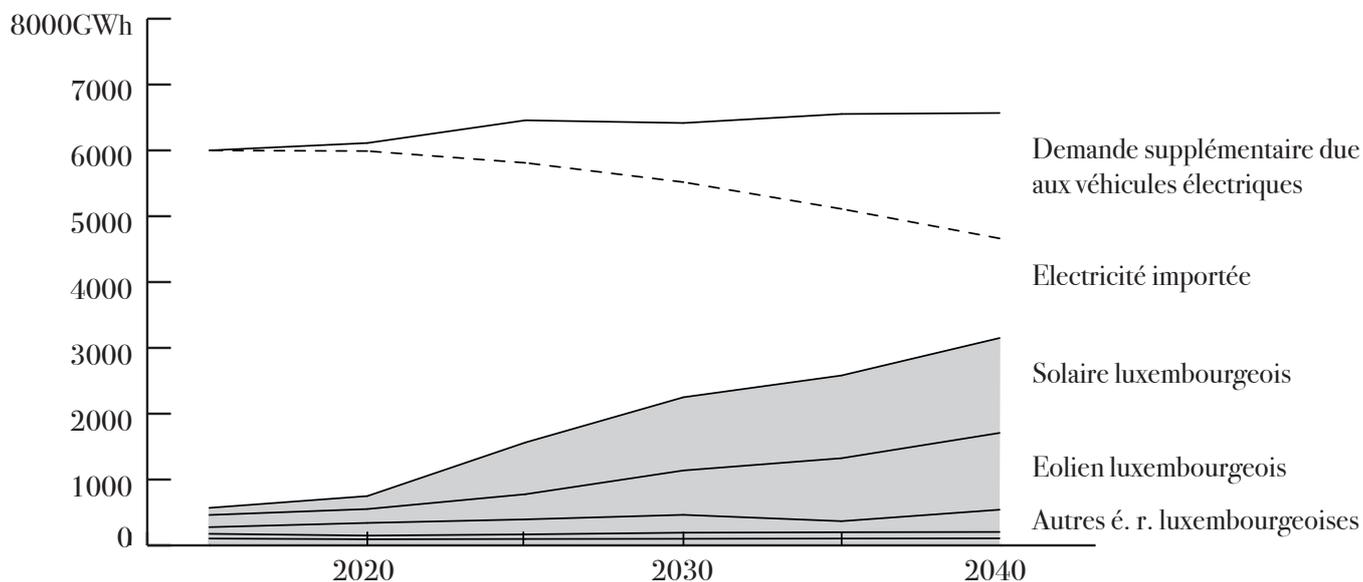


FIGURE 6 : Objectifs de production et de consommation d'électricité au Luxembourg à l'horizon 2040, scénario accords de Paris

Le Luxembourg ambitionne de disposer en 2030 d'un parc automobile 50% électrique. Tenu compte qu'une voiture électrique consomme en moyenne la moitié de l'électricité d'un ménage moyen⁹, cette transition dans le domaine des transports aura un effet significatif sur le thème de la production intérieure d'électricité.

En effet, le Grand-Duché vise pour 2040 de décupler la production photovoltaïque, quintupler le parc éolien et tripler le chauffage à base de biomasse (fig. 6). Selon ce scénario, le Luxembourg serait capable de produire annuellement plus de 3 000 GWh d'électricité renouvelable, contre 750 actuellement¹⁰.

Ces efforts importants serviraient selon ce scénario à couvrir également la moitié de la consommation interne d'électricité à l'horizon 2040, moyennant des économies d'énergie de 40% par habitant, une diminution nette compensée par l'afflux massif de véhicules électriques.

Ainsi, en matière d'énergie principalement, il apparaît difficile pour le Luxembourg de se passer d'importations massives, même après de fortes mesures d'économies d'énergie. Les collaborations internationales existantes, notamment dans le cadre du réseau NSEC sont capitales pour l'approvisionnement énergétique du Grand-Duché, de plus en plus tourné vers l'électrification de vastes secteurs de son économie.

Il en résulte qu'une grande part de l'empreinte énergétique du Luxembourg sera toujours comptabilisée à l'étranger.

Le paradoxe de l'alimentation

Malgré une vaste surface agricole, le Luxembourg dépend fortement de l'étranger pour son autonomie alimentaire.

Le paysage agricole luxembourgeois est caractérisé par sa grande fragmentation : terres cultivées, pâturages et forêts constellent un terrain accidenté. Les terres du Gutland, au sud, sont historiquement les plus propices à la production agricole, le sol de l'Oesling, au nord, étant moins fertile et celui du Minett partiellement pollué par son passé minier.

50% de la surface du territoire luxembourgeois sont dédiés à l'agriculture, répartis entre sols alloués aux cultures (24%), et ceux utilisés comme pâturages¹¹ (26%) (fig. 7).

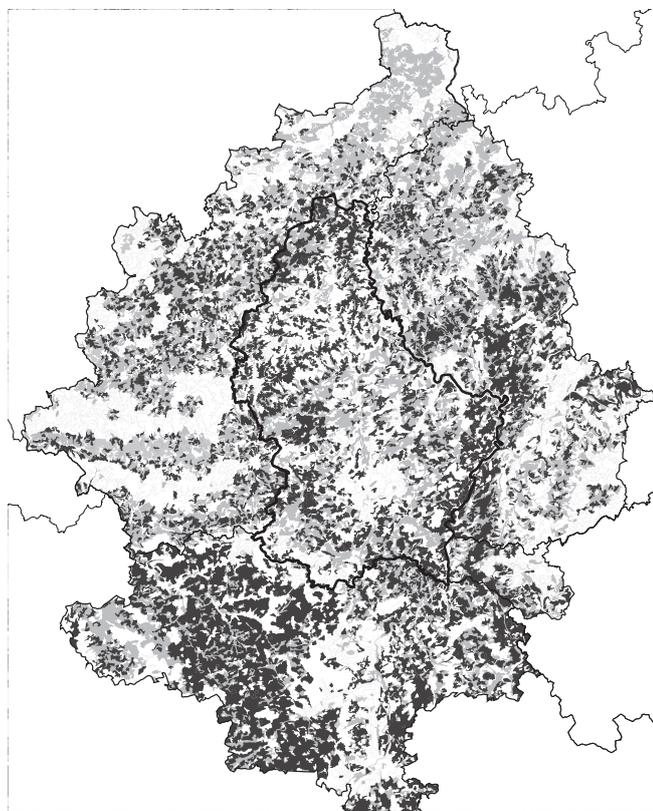


FIGURE 7 : Surfaces dédiées aux cultures (noir) et aux pâturages (gris)

Les exploitations agricoles luxembourgeoises sont de relativement petite taille, sans commune mesure avec certaines pratiques d'agriculture extensive présentes ailleurs en Europe. Le secteur s'est spécialisé dans l'élaboration de produits à forte valeur ajoutée (viande, fromage, vin), productibles à petite échelle et exportables¹². Cette production ne vise pas à couvrir les objectifs de sécurité alimentaire de la population luxembourgeoise, qui importe de l'étranger 95% de ses fruits et légumes¹³.

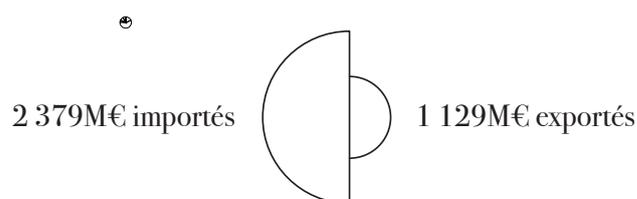


FIGURE 8 : Balance commerciale de produits issus de l'agriculture

Il convient également de rappeler le phénomène du tourisme d'achats alimentaire entre le Luxembourg et ses régions limitrophes, qui vient accentuer cette tendance. Le régime de production actuel, en particulier celui des produits d'origine animale, est avide en énergie et en terres ancillaires. Ainsi, seuls 11% de la l'industrie agricole est dédiée à la production de végétaux destinés à la consommation humaine. Le solde de cette surface est en grande majorité accaparé par la culture de produits à haute valeur ajoutée (vin) ou de nourriture pour animaux, dont l'exportation vient amoindrir le déficit commercial (fig. 8, 9).

La surface forestière, fragmentée, en mains privées et sur un terrain souvent accidenté, n'est actuellement pas exploitée à des fins de production alimentaire.

La FAO estime que la surface de cultures actuelle du Grand Duché, qui n'inclut pas les pâturages, pourrait théoriquement suffire à fournir 78% des apports calorifiques de sa population¹⁴.

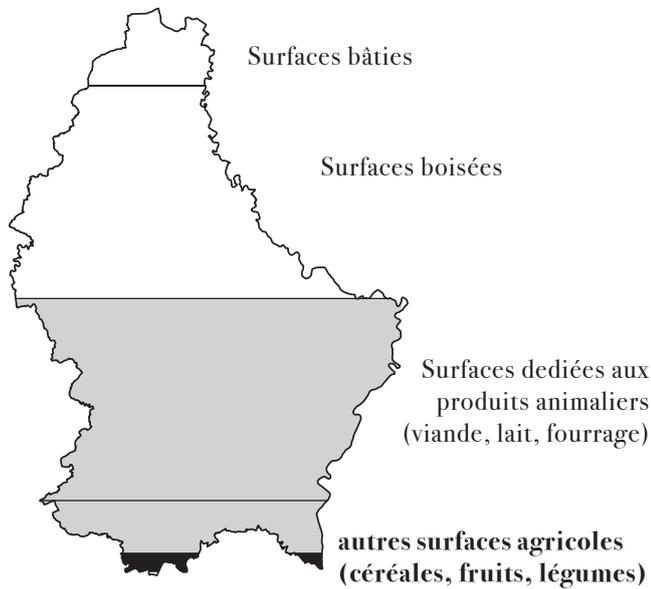


FIGURE 9 : Répartition de la production agricole, en % de valeur ajoutée brute

La FAO estime que 0,22 hectares sont en moyenne nécessaires à chaque habitant pour se nourrir. Ce chiffre monte à 0,37 hectares dans les pays riches¹⁵.

Actuellement, 0,12 hectares de cultures sont disponibles par habitant, et 0,26 hectares si l'on inclut les surfaces en jachère et de pâturages (fig. 10).

Le réservoir de terres agricoles du Luxembourg est, en proportion, vaste. Moyennant une réorientation du type de production sur les terres agricoles du Grand-Duché (vers une agriculture de conservation et de subsistance), une réduction du gaspillage alimentaire et un changement de diète, il est envisageable d'imaginer un degré d'autonomie alimentaire du Luxembourg substantiellement meilleur à celui d'aujourd'hui.

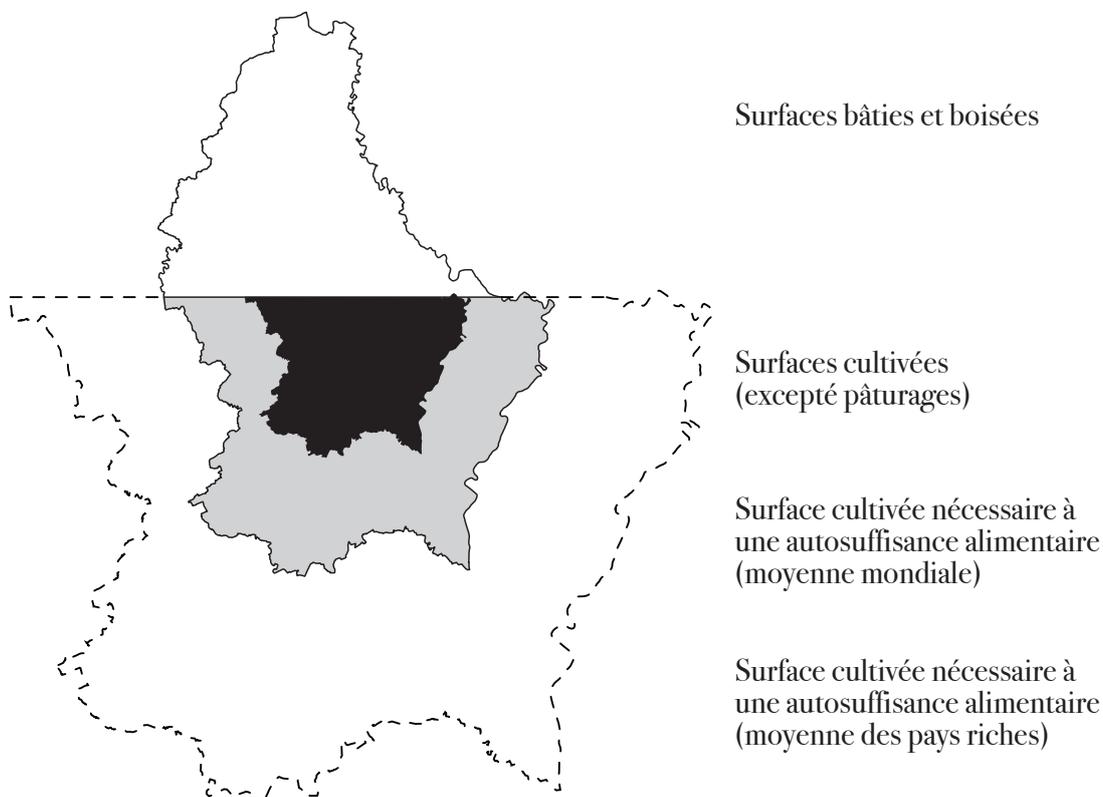


FIGURE 10 : Surface nécessaire à l'autosuffisance alimentaire du Luxembourg

Le paradoxe de l'inégalité

L'afflux massif de richesses venues de l'étranger creuse les inégalités au sein de la population.

Le Luxembourg fait face depuis plusieurs décennies à une immigration grandissante d'une population jeune, hautement qualifiée et liée à un type d'activité économique spécifique. Attisée à l'origine par un climat fiscal favorable au développement de l'économie de la finance, puis complétée par celle de la connaissance, la croissance économique provoque une boucle de rétroaction entre augmentation du PIB¹⁶, immigration¹⁷, renchérissement¹⁸, et polarisation¹⁹ entre le Luxembourg et ses régions voisines (figs. 12-15).

Si le solde migratoire est l'un des plus élevés l'Europe, celui des citoyens de nationalité luxembourgeoise est négatif depuis 1990. L'évolution future de ces indicateurs est étroitement corrélée avec l'évolution de la croissance²⁰. Les inégalités se creusent aussi au sein du territoire luxembourgeois même. Le pays a également besoin de travailleurs dont l'activité est moins valorisée, et une part de la population résidente actuelle souffre de la pression venue de l'extérieur. C'est ainsi qu'augmente chaque année le taux de la population en situation de risque de pauvreté²¹ (fig. 11).

Cela se reflète aussi dans l'augmentation grandissante de la population frontalière, qui n'a souvent pas les ressources nécessaires pour se loger au Luxembourg. Externalisés du territoire, ils sont de plus tributaires d'une faible infrastructure de transports collectifs.

L'acuité de ce phénomène se ressent particulièrement dans le domaine du logement : l'envolée massive des prix de l'immobilier est difficile à contrôler. Le tissu bâti du Grand-Duché est de plus caractérisé par sa petite échelle, plus de neuf dixième des objets logement moins de cinq ménages.

De ce fait, les conditions sont défavorables à la construction massive de logements abordables. L'Etat peut toutefois se tourner vers d'anciens sites industriels situés dans le sud-ouest du pays. Ces terrains au sol souvent pollué et géographiquement isolés sont déjà localisés dans les communes les plus pauvres du pays, risquant de manquer d'adresser le problème de l'inégalité spatiale entre le Luxembourg des riches et le Luxembourg des pauvres²² (fig. 18). La réserve de terrains à bâtir du pays est en effet à 80% en mains privées, et seul 2% destinés au logement à loyer contrôlé²³ (figs. 16-17).

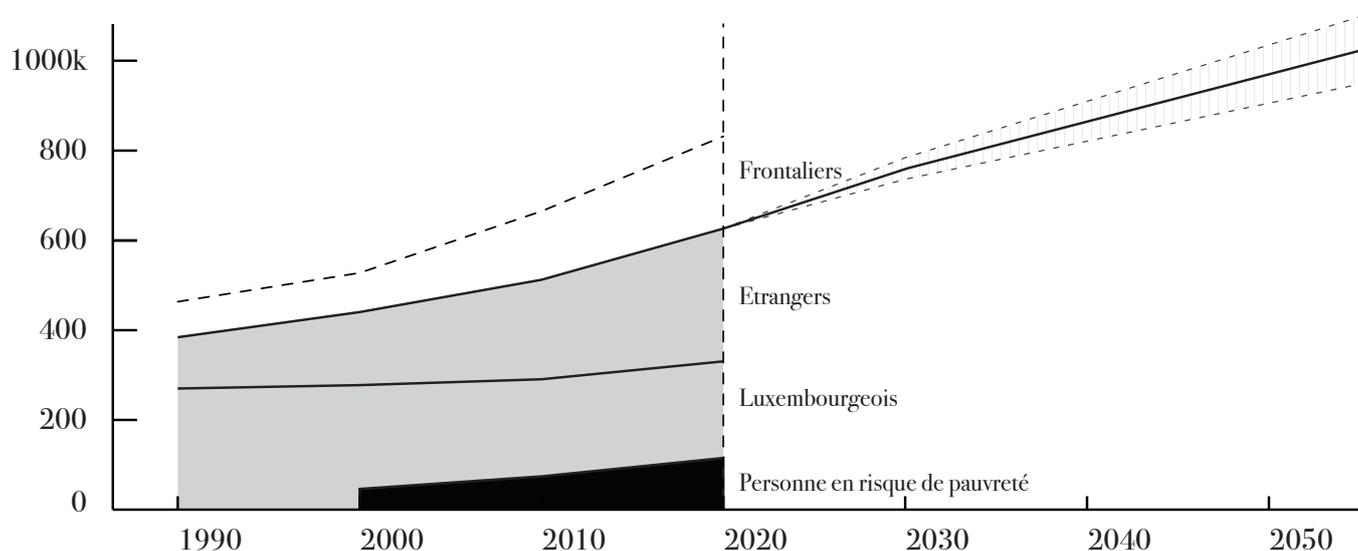


FIGURE 11 : Évolution et composition de la population, 1990-2019

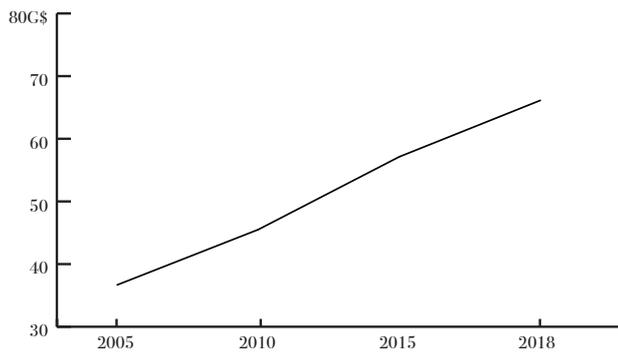


FIGURE 12 : Évolution du PIB

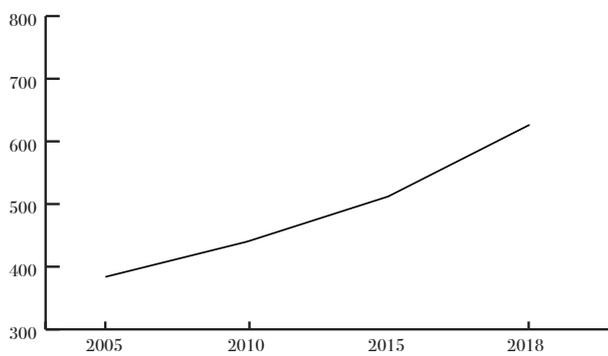


FIGURE 13 : Évolution de la population

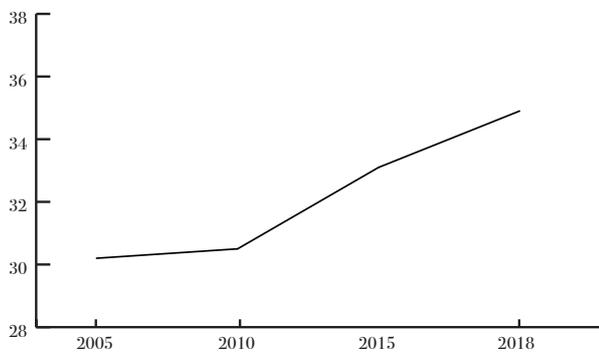


FIGURE 14 : Évolution de l'indice de Gini

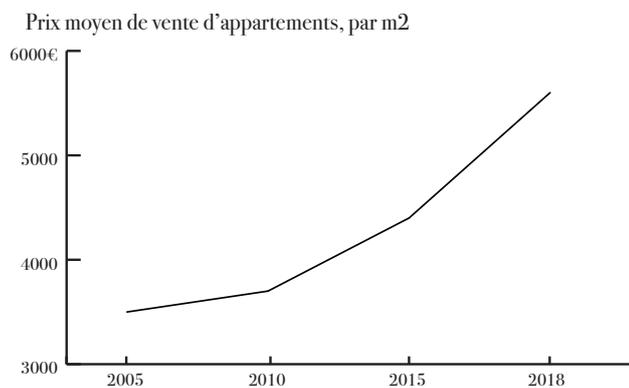
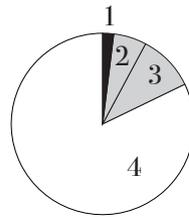
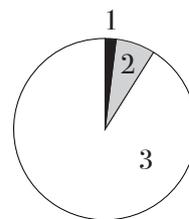


FIGURE 15 : Évolution du prix moyen de vente d'appartements, au mètre carré



- 1. Logements sociaux
- 2. Immeubles de plus de 5 ménages
- 3. Immeubles de moins de 5 ménages
- 4. Maisons unifamiliales

FIGURE 16 : Composition du parc de logement



- 1. Logements sociaux
- 2. Pouvoirs publics
- 3. Privés

FIGURE 17 : Propriétaires des terrains à bâtir

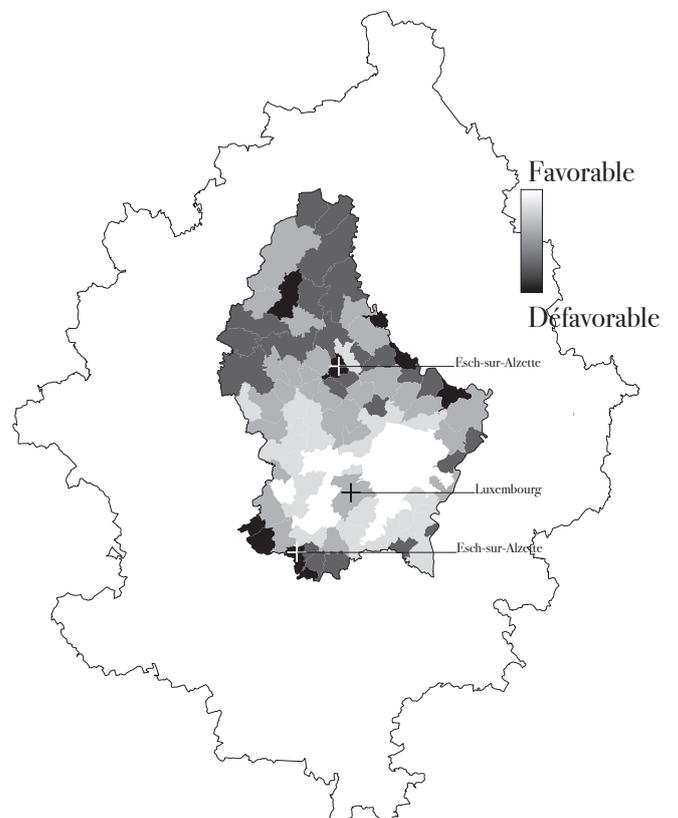


FIGURE 18 : Indice socio-économique par commune

Le paradoxe de l'eau potable

Les réserves en eau de Grand Duché sont abondantes, mais polluées

Aujourd'hui les ressources en eau souterraine du Grand-Duché sont amplement suffisantes pour répondre aux besoins quotidiens de sa population. Néanmoins, les prévisions pour 2050 envisagent une augmentation importante de la demande en ces ressources d'eau potables²⁴. Les eaux souterraines représentent deux-tiers de l'approvisionnement en eau fraîche de la population luxembourgeoise, et généralement ne nécessitent que peu de traitement avant d'être consommées. L'autre tiers d'approvisionnement provient du barrage de l'Esche-sur-Sûre, qui nécessite un traitement plus élaboré de l'eau (fig. 19).

Grâce à leur haute qualité, jusqu'en 1960, les eaux souterraines étaient les seules sources d'approvisionnement en eau fraîche²⁵.

Bien que ce soit encore la seule source d'approvisionnement pour certaines communes, aujourd'hui la qualité des 5/6

des masses d'eau souterraines ne répondent pas aux objectifs environnementaux de la DCE (directive-cadre sur l'eau). Parmi une multitude de facteurs polluants, les principaux sont les particules agricoles, avec leur utilisation d'engrais, de fertilisants et de pesticides. La qualité est aussi affectée par les densités de bétail élevées au niveau régional et les activités ménagères ou de jardinage inadaptées et polluantes. Les dernières années, 12 points de captage souterrains d'eau potable ont dû être abandonnés dans tout le pays (fig. 20), entraînant une perte de 7% des ressources en eau souterraine actuellement utilisées²⁶.

Dans le territoire luxembourgeois la gestion des eaux est une politique qui se fait à un niveau communal (distribution, entretien de l'infrastructure, égouttage, stations épuration). Ces gestions peuvent être : (a) autonomes (20%) en exploitant elles-mêmes leurs sources et forages ; (b) semi-autonomes

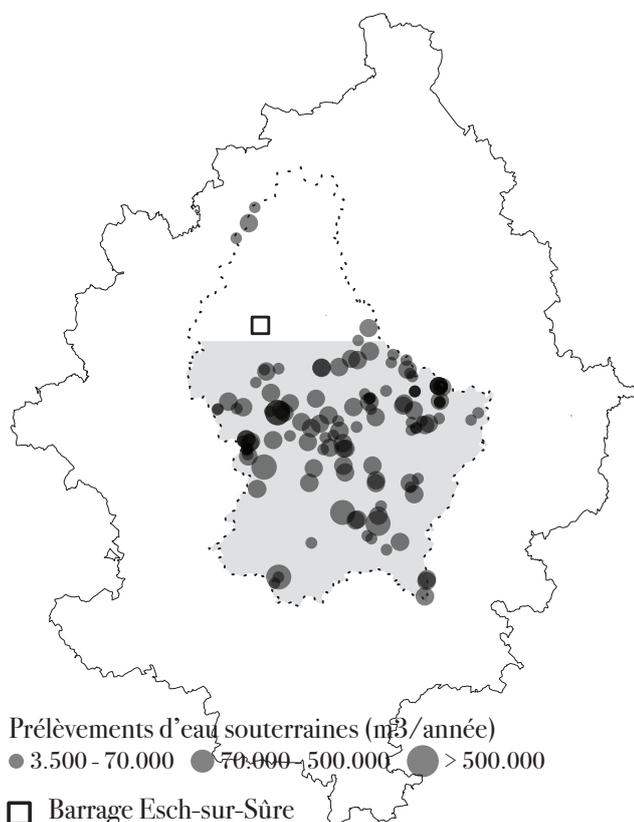


FIGURE 19 :
Approvisionnement en eau fraîche

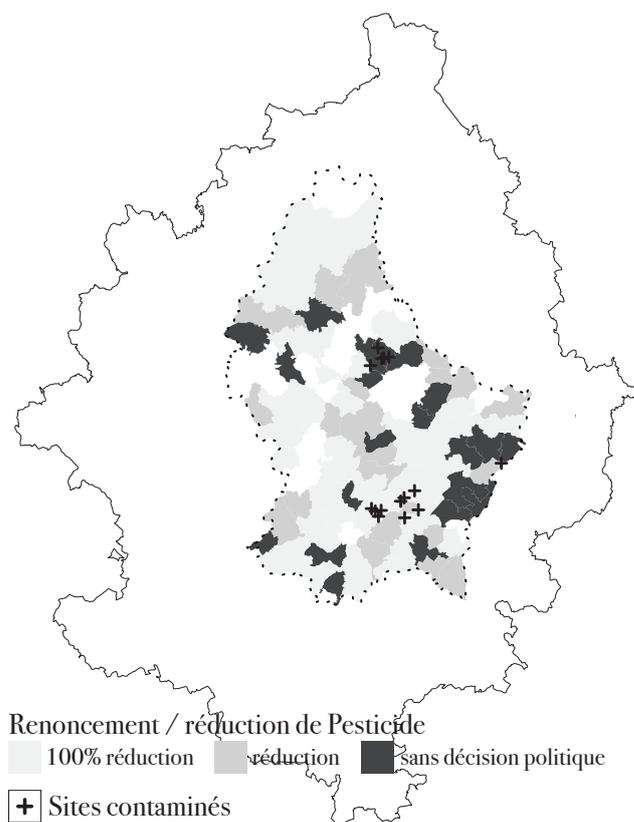


FIGURE 20 :
Pesticides dans l'agriculture et sources polluées

(32%) en disposant de leurs propres captages mais également affiliées à des syndicats des eaux en cas de besoins ; (c) ou totalement affiliées (48%) à des syndicats d'eau qui leur fournissent l'eau continuellement. Ces dernières années, cette gestion décentralisée a été renforcée par une volonté d'agir à travers des processus plus naturels que technologiques. Aujourd'hui le Luxembourg compte 50% de stations d'épuration biologiques et 50% de stations d'épuration mécaniques (fig. 22) , les rénovations actuelles et futures de stations d'épurations sont systématiquement transformées en stations biologiques²⁷.

La consommation des usagers frontaliers n'est pas prise en compte dans la planification des réseaux, qui sont soumis à de fortes variations, tant saisonnières (vacances avec moins d'habitants) qu'hebdomadaires (week-ends avec moins d'habitants). Cependant, lorsque tous les facteurs sont à leur capacité maximale (ex: une période prolongée de canicule, en semaine et en hors vacances), la capacité de stockage et la taille des réseaux de distribution peuvent être insuffisantes pour faire face aux pics de consommation. Le graphique ci-dessous (fig. 21) illustre la répartition de l'utilisation de l'eau potable, avec une consommation quotidienne de 150 litres par ménage. Cette répartition devra être repensée pour répondre aux besoins futures en générant d'importantes économies d'énergie et de CO₂ dans les processus d'extraction d'eau fraîche ainsi que lors des traitement des eaux usées.

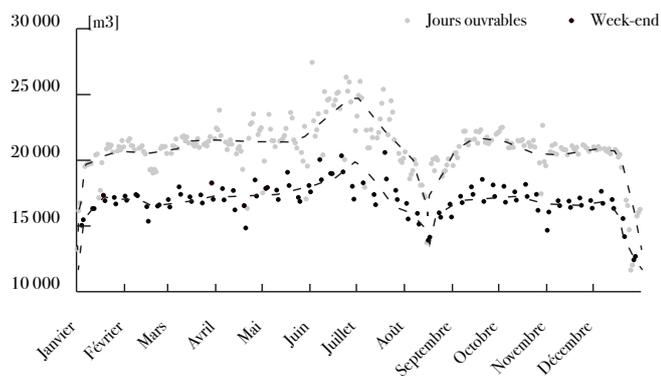


FIGURE 21 :
Variation de la demande en eau fraîche

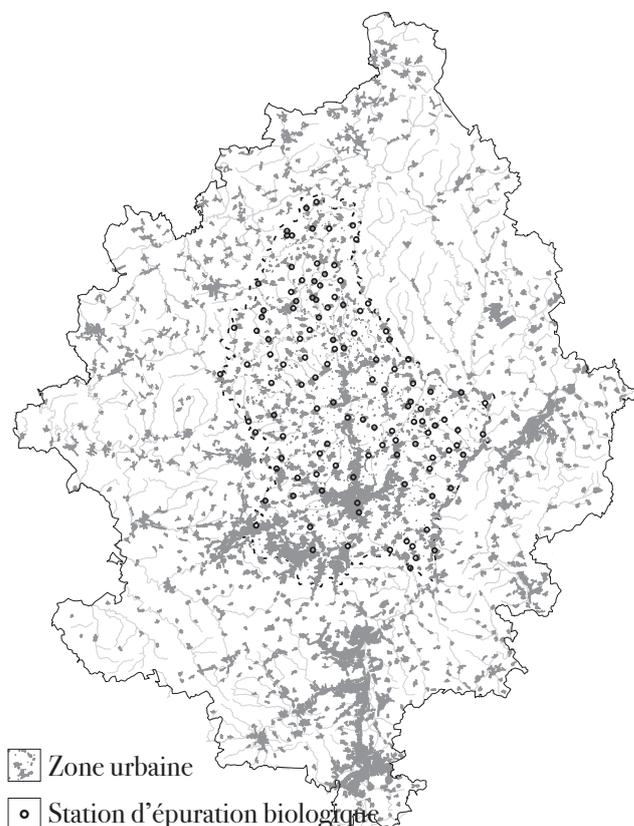


FIGURE 22 :
Réseau stations d'épuration décentralisé

III

LES METRIQUES DE LA TRANSITION : TROIS VISIONS DU MONDE.

Les paradoxes ont mis au centre de notre première réflexion des points durs, complexes, contradictoires au projet de transition. L'ambition de décarboner et de rendre résilient face au changement climatique le Grand-Duché de Luxembourg (en le considérant avec sa région fonctionnelle transfrontalière) à l'horizon 2050, devra en tenir compte et ceci va engendrer des positionnements différents quant aux choix à faire, aux priorités et aux temporalités fixées à tenir.

Les trois visions du monde permettent de « se figurer » des trajectoires possibles. Elles fournissent les métriques relatives. On pourra alors mieux comprendre dans quelle mesure l'adaptation touchera aux styles de vie, à notre imaginaire et à nos relations au monde et dans quelle mesure un débat sur les valeurs reste primordial.

Les trois visions du monde sont à concevoir ayant présentes en tête les multiples histoires, sociale, environnementale et économique du Luxembourg, qu'elles intègrent en dépassant les paradoxes socio-économiques et écologiques liés aux trois révolutions, d'abord économique - industrielle, puis financière, et enfin de la connaissance, qui ont caractérisées la modernisation du Grand-Duché. On pourrait les relire en utilisant les émissions GES (Gaz à Effet de Serre) comme paramètre. La quatrième révolution, quant à elle, sera le résultat du projet de la transition.

Vers une neutralité CO2. Trois visions du monde.

Les secteurs clés choisis pour détailler les stratégies et les actions pour chaque vision sont ceux du transport, de l'énergie, du travail industriel et tertiaire, de l'agriculture et des UTCATF (Utilisation des Terres, Changement d'Affectation des Terres et Foresterie, LULUCF en anglais), et finalement du bâti (plus généralement des établissements humains et de leur structure spatiale). Si transport et bâti sont les plus émetteurs au Luxembourg, l'agriculture peut amener un potentiel élevé d'absorption de ces mêmes émissions. Les émissions liées au travail sont essentielles à regarder pour comprendre la logique spatiale des établissements urbains et du transport. Il s'agit aussi des secteurs qui ont le potentiel maximal de réduction des émissions (et de réduction des consommations d'énergie), ce qui nous permet de traiter le secteur de l'énergie, non pas à partir de la production (d'énergie renouvelable), mais à partir des stratégies de diminution des consommations. Ce renversement s'élargit à l'efficacité des loops (boucles, cycles) énergétiques et à la valorisation de l'énergie grise déjà en place.

Au cours de la lecture, le passage dessiné par les scénarios sera de plus en plus évident : du scénario qui ne remet pas en cause les fondements de notre style de vie et de notre économie aux scénarios qui les bousculent. Ceci ne doit pas donner lieu à des mauvaises interprétations : il ne s'agit pas de caricaturer les différentes positions, ni de les ridiculiser. Au contraire. Il s'agit plutôt de prendre une certaine distance et assumer le défi intellectuel que chaque vision nous propose : l'utopie technologique du Cradle to Cradle, qui utilise la métaphore du métabolisme pour imaginer une vie urbaine capable de s'organiser sur la base de cycles énergétiques et de matière parfaitement maîtrisés et fermés, sans rejets ; la critique structurelle et radicale à la société de consommation et au système économique actuel dans la vision De-Growth ; la sortie du modèle anthropocentrique et l'entrée dans une nouvelle dimension éthique qui pourrait changer pour toujours notre manière d'être au monde, dans le cas de la Deep Ecology.

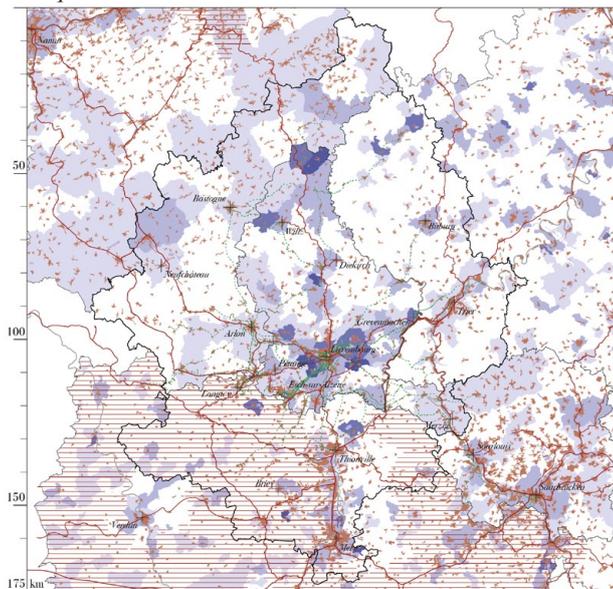
Chaque vision élabore ses parcours vers la durabilité planétaire ; en même temps, elles sont ici territorialisées, spatialisées. Nous sommes ici au Luxembourg et dans sa région fonctionnelle. Dans le Cradle-to-cradle, le Grand-Duché ne met pas en discussion le modèle économique présent et adopté après la désindustrialisation, caractérisé par la présence du secteur tertiaire avancé (banques, assurance, immobilier) et un haut niveau d'attractivité envers la région fonctionnelle. Ce modèle glisse cependant vers une

nouvelle révolution économique, qui étend la troisième révolution, celle de la connaissance. Degrowth : le Luxembourg remet en discussion le modèle économique présent, le secteur tertiaire se réduit et cède en partie sa place au secteur primaire, à la production (alimentaire, biomasse, énergie renouvelable basée sur le territoire), à l'extension du cycle de vie des produits, au réemploi, à la réparation et maintenance des objets et technologies actuelles. Le style de vie, autrefois basé sur la consommation, est adapté. La vie collective s'organise à l'intérieur de "cellules", lesquelles sont autosuffisantes selon les différentes catégories investiguées. Deep ecology : le Luxembourg reconnaît la valeur de la nature et des différentes formes de vie et décide d'orienter sa structure économique et spatiale en cohérence. Le soin du paysage, la restauration des écosystèmes endommagés génèrent de nouveaux métiers et de nouvelles économies.

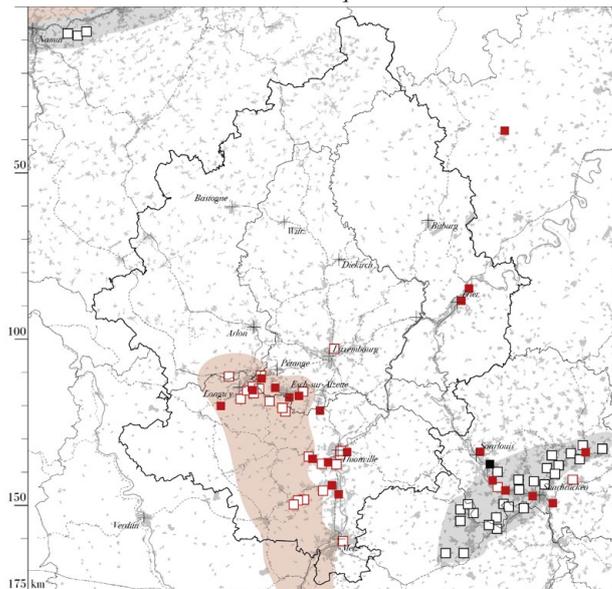
La structure de ce troisième chapitre est donc la suivante :

- la page à côté est dédiée à « l'Atlas de la transition », une série de cartes qui décrivent la région fonctionnelle à partir des thèmes de la transition écologique et socio-économique. Dans les annexes, l'Atlas est disponible avec les cartes que nous avons jusqu'ici réalisées et sélectionnées. Sa construction accompagnera l'évolution du travail, avec la nécessité continue de cartographier les indicateurs et les informations relatives aux thèmes et stratégies de la transition.
- dans les deux pages successives, « Mesurer les visions du monde : actions / réponses », la méthodologie utilisée est synthétiquement expliquée. Dans les annexes, il sera possible de trouver les détails et les sources utilisées in extenso ;
- puis, chaque scénario est développé et expliqué à travers la sélection d'actions et de stratégies sur les secteurs émetteurs, concernant le Luxembourg et sa région fonctionnelle ;
- les courbes relatives aux secteurs du transport, de l'industrie et du tertiaire, de l'agriculture et des UTCATF, de l'énergie et du bâti sont expliquées dans le détail. Elles sont accompagnées par des diagrammes qui spatialisent les stratégies et actions envisagées pour chaque scénario à l'échelle de la région fonctionnelle et par l'amorce de l' « Archive des imaginaires de la transition » qui sera approfondi dans la deuxième phase pour arriver à la construction de nouvelles images pour le futur du Grand-Duché de Luxembourg et sa région fonctionnelle ;
- l'impact des stratégies et des actions par vision génère l'image synthétique des « courbes de la transition » ;
- enfin un tableau reprenant les secteurs permettra de lier actions et réponses.

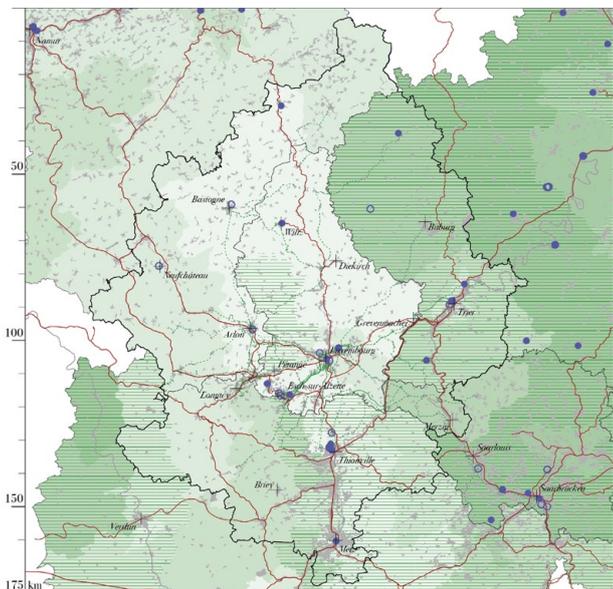
Emploi



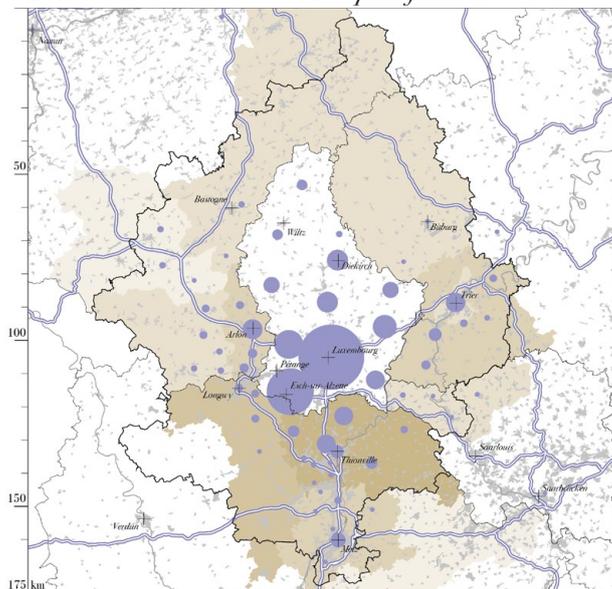
Première révolution économique : industrie



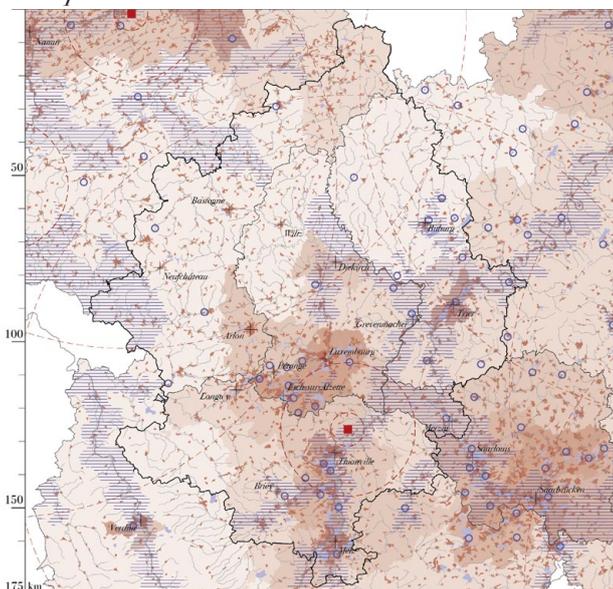
Viellissement et santé



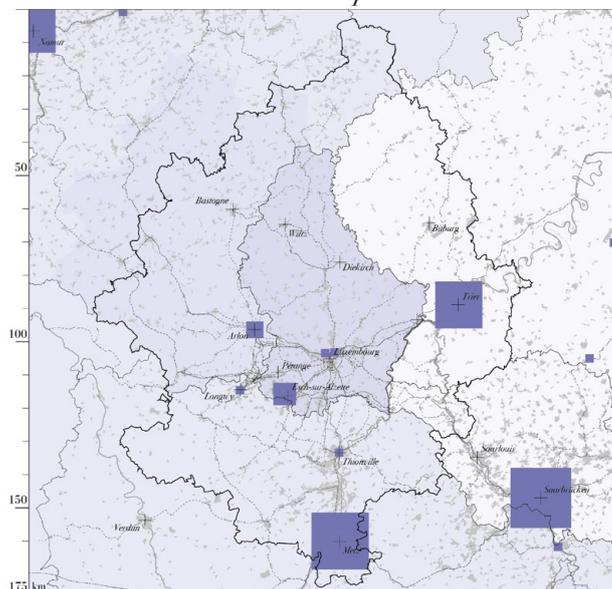
Deuxième révolution économique : finance



Risques



Troisième révolution économique : connaissance



Approche méthodologique, les émissions de CO₂ comme paramètre

Le travail présenté ci-après n'a pas la prétention d'avoir des chiffres et courbes exactes sur la réduction des émissions de CO₂ à l'horizon 2050. L'objectif est bien de contextualiser la métrique et sa méthodologie, ceci pour le territoire spécifique du Luxembourg (en tenant aussi en compte les émissions externalisées), afin d'être capable d'en interpréter les résultats suivant les trois visions du monde. Il s'agit de traiter d'une condition globale, celle de la transition. Elle est ici mesurée par les émissions, en particulier de dioxyde de carbone (CO₂), principal gaz à effet de serre.

Les données utilisées se basent sur différents rapports. Elles sont d'abord issues de l'UNFCCC (Convention-cadre des Nations unies sur le changement climatique), où chaque année, tous les pays membres sont invités à soumettre leurs données d'émissions. Le site contient l'inventaire des émissions historiques depuis 1990, et ce jusqu'à 2018. Les données sont agrégées en 7 secteurs. Le secteur intitulé "énergie" prédomine car il agrège plusieurs types d'émissions, pourtant bien contrastés (transport routier, industrie, ...). Cette agrégation des données, en respect du territoire Luxembourgeois, fait apparaître des lectures parfois biaisées (sur-représentation du secteur énergie qui amalgame de trop nombreuses catégories d'émissions (transport routier, industrie, ...)).

Ainsi, nous avons choisi d'agréger différemment ces données, suivant les secteurs plus nuancés définis par l'EEA (European Environment Agency), qui inventorie et fait des projections pour chaque pays de l'UE. De la sorte, nous avons des données cohérentes, manipulables, et qui parcourent une temporalité assez étendue, capable de tracer les évolutions des émissions, suivant les différentes révolutions (décrites plus haut) que le Luxembourg a traversé et traverse.

Le dernier document utilisé est le plus actuel et le plus précis. Rédigé par le Ministère de l'Environnement du Grand-Duché, le "4th Biennial Report of Luxembourg under the United Nations Framework Convention on Climate Change" (BR4), daté du 23 Novembre 2020, soumis à l'UNFCCC,

décrit la situation existante des émissions et les objectifs du Grand-Duché (chapitres 1 et 2), envisage les mesures à mettre en place pour atteindre les objectifs (chapitre 3) et propose des trajectoires de réduction à l'horizon 2040 (chapitre 4). Néanmoins, ces trajectoires sont simulées selon des modèles autonomes, décorréllés des actions et politiques décrites. Toutefois, le BR4 reste opérationnel dans le sens où il permet de quantifier l'impact de certaines actions et donc de traduire les politiques en chiffres. Pour cela, le BR4 est considéré comme base pour étudier la réduction des émissions basées sur des actions/réponses induites par les visions proposées. De plus, il propose des comparaisons de réduction entre "mesures existantes" (With Existing Measures) et "mesures additionnelles" (With Additional Measures), ce qui permet d'identifier par secteurs un potentiel de réduction des émissions (PEC, Potential of Emissions Compressions). L'EEA propose aussi ce type de projections, globales pour l'ensemble des pays de l'UE, donc moins spécifiques et non liées à des actions territorialisées.

Néanmoins l'EEA nous permet de corroborer les résultats que nous obtenons dans la construction des courbes relatives aux visions du monde, basées en définitive sur la mise en lien d'actions conjecturées à partir des visions du monde, associées à un potentiel de réduction des émissions, conjecturé/calculé à partir des rapports et de leurs données existantes/projetées. Les données, suivant les modèles de calculs et années de références utilisés, ont été alignées et parfois prolongées. Le point de départ considéré est l'année 2019 (car 2020 fut exceptionnelle) et le point d'arrivée est l'année 2050 (en considérant l'horizon à court terme de 2030) pour construire les métriques de réduction des émissions.

Notre proposition d'associer métriques et visions du monde prend une envergure importante et nécessaire, complémentaire aux outils, données et projections scientifiques déjà réalisées. La capacité de notre équipe, composée d'experts (métabolisme, écologie, sols, construction durable, mobilités, eau, ...) est mobilisée pour conjecturer, suivant les trois visions du monde, des trajectoires vers la neutralité carbone.

L'approche du calcul du Potentiel de Réduction des Emissions (Potential of Emissions Compression)

Suivant la formule mathématique ci-dessous, le PEC est calculé :

- en faisant d'abord la soustraction entre les valeurs de réduction obtenues par secteurs (simulations du BR4) avec des "mesures additionnelles" (WAM) et des "mesures existantes" (WEM) que l'on considère valeur de référence (c'est-à-dire l'évolution des émissions sans changement d'action ou de politique). Cela permet de quantifier l'impact des WAM, qui sont des actions, politiques de mitigation (par ex. pour le transport routier l'ajout d'une taxe sur les énergies fossiles);

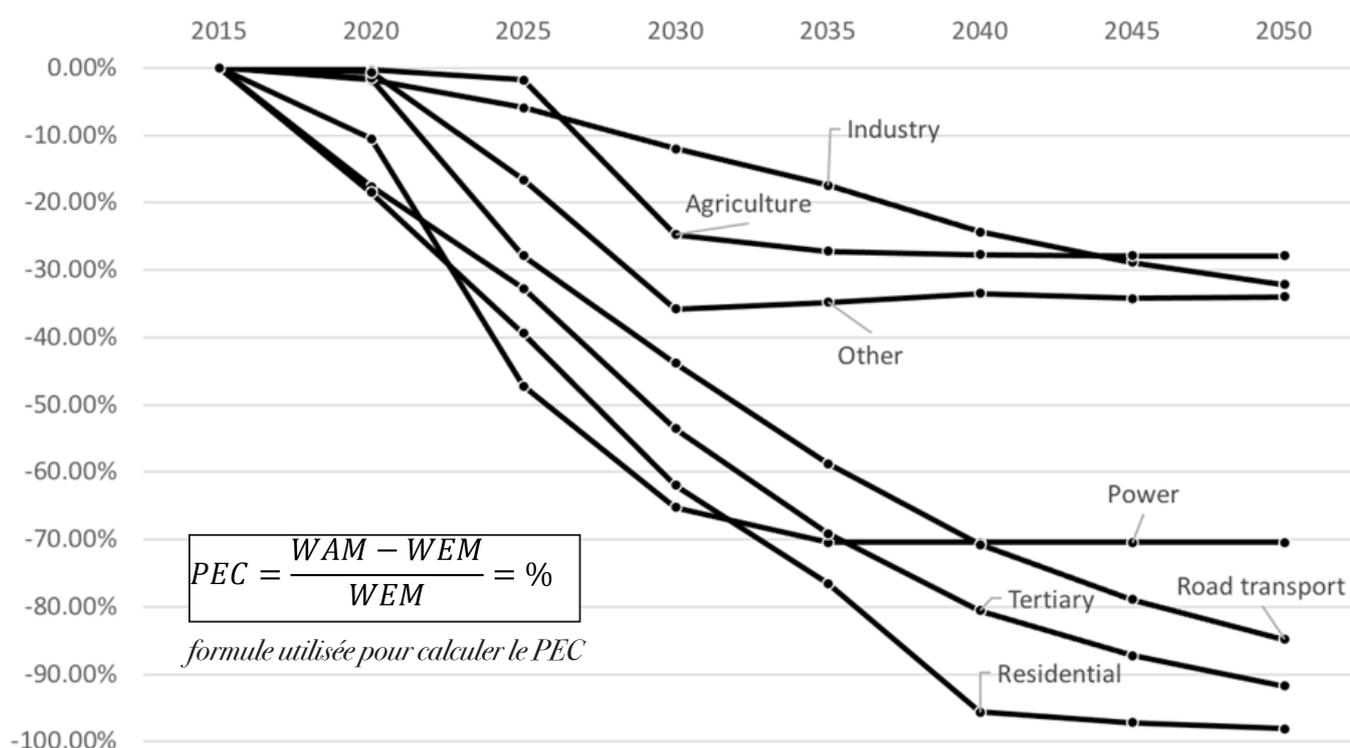
- en divisant le résultat obtenu par la valeur de référence (WEM). Cela permet de calculer le % de réduction par rapport à la valeur de référence si les actions, politiques ne sont pas implémentées. Ce pourcentage montre finalement le potentiel de réduction lié à une action, politique, qu'il est possible d'escompter, échelonné dans le temps.

L'approche du calcul des réductions d'émissions et d'absorption des UTCATF (LULUCF)

Le secteur Utilisation des Terres, Changement d'Affectation des Terres et Foresterie, au cours de l'étude, a montré sa capacité à devenir ou à améliorer ses propriétés d'absorber, notamment de CO2.

Pour chaque vision, une série d'actions ont été imaginées (sur 30 ans) sur les surfaces des espaces ouverts existants (land-use 2015).

Tous les milieux (surfaces agricoles, urbaines et « naturelles») ont été quantifiés et pris en considération pour une potentielle transformation dans le but de réduire les émissions de CO2 et/ou d'augmenter leur capacité de captation. La catégorie UTCATF (LULUCF) inclut toutes les typologies de surfaces et leurs transformations. Aussi, pour une meilleure compréhension et interprétation des résultats obtenus, notamment pour les phases suivantes du travail, lorsqu'il s'agira de spatialiser concrètement ces transformations de l'usage des sols et de leur couverture, la partie concernant strictement l'agriculture est présentée de manière isolée.



Potentiel de réduction des émissions (PEC) par secteur, obtenu suivant les données BR4 et corrélé avec les projections EEA.



Extrait de l'Archive de l'Imaginaire, en construction

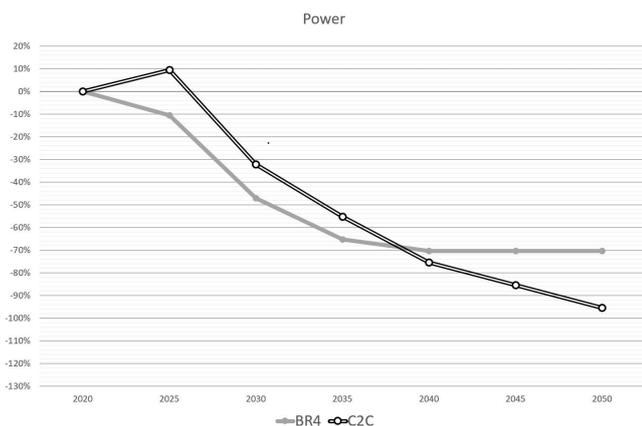
A l'échelle de la région fonctionnelle, le recours aux technologies numériques par la gestion du trafic et l'augmentation de l'efficacité des interconnexions aux différentes polarités de l'aire métropolitaine s'accroîtront d'ici 2050. La courbe reprend une augmentation dans les cinq ans afin que les infrastructures et le parc de véhicules puissent intégrer les différentes technologies. Même dans le cas d'une pratique généralisée du télétravail, la demande de déplacements poursuit sa croissance pour rencontrer les activités impossibles à décentraliser via le télétravail. L'impact carbone sera donc en diminution, mais ne pourra être neutralisé intégralement.

À l'échelle locale, la mobilité pourrait atteindre la neutralité carbone en réduisant la demande de déplacements par l'accès aux équipements et infrastructures dans des rayons de desserte des transports collectifs. Cette proximité permettra aussi l'utilisation du vélo, électrique ou non, et la marche à pied.

c. La mobilité des marchandises

L'aire métropolitaine s'appuie sur sa position sur les différents axes du RTE-T. L'intermodalité du transport permet d'accroître le report du transport de marchandises vers la voie d'eau via la Moselle et le fret ferroviaire via les plateformes intermodales (Bettembourg, Duddelange par exemple). Le fret aérien n'intervient qu'en complément pour les produits très spécialisés tout en utilisant des avions à faible consommation d'énergie fossile.

Energie



Le C2C envisage un réseau de production énergétique centralisé dans les E-Hubs (centres énergétiques) et reste similaire aux prévisions faites par le BR4. Comme l'expérience de la centrale à gaz TWINGeng entre 2001 et 2016 l'a démontré, le Luxembourg reste fortement dépendant de l'énergie produite à l'étranger. Pour cette raison, une politique de diminution des émissions qui soit compréhensible et efficace, cherche à internaliser la production et en même temps à la rendre durable. Le BR4 prévoit des politiques qui favorisent l'implantation de centrales à biomasse utilisant les déchets de l'agriculture, sans recours à une hausse des importations de l'Allemagne (fortement carbonées). En ce sens, le C2C cherche à « fermer le circuit » de la production et consommation, en réutilisant les déchets d'un secteur pour en faire une ressource dans un autre. La courbe des émissions suit plus ou moins celle du BR4 mais accentue certaines tendances au début et à la fin : elle monte à cause de l'investissement initial dans le paradigme technologique et productif d'aujourd'hui pour avoir des bénéfices légèrement plus tardifs, effectivement liés à l'emploi d'une technologie moins impactante (d'où l'investissement initial).

Travail

a. Tertiaire

Pendant le Covid 19, 69% des travailleurs au Luxembourg (CES, 2020) ont été en télétravail. Cette condition se poursuivra, car déjà le 53% des emplois luxembourgeois se prêtent au télétravail, ce qui en fait le 3ème pays de l'Europe des 27 où on télétravaille le plus (Eurostat, 2019).

Le C2C accentue la forte tendance décroissante du BR4 en poussant surtout sur le télétravail lorsqu'il est possible et une proximité de l'emploi pour ce qui concerne les services à la personne (écoles, hôpitaux, etc.).

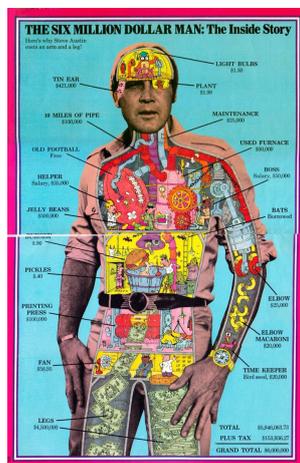
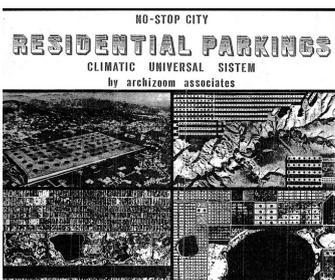
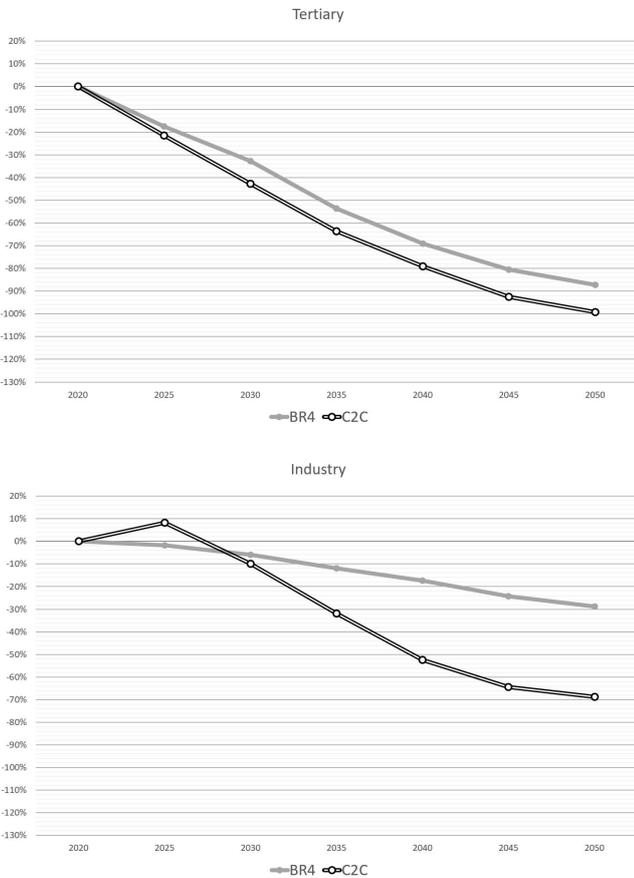
b. Industrie

Dans le C2C, le rôle joué par l'industrie est fondamental. Le secteur public, démonstratif, soutiendra le privé, qui prendra une proportion dominante dans la transition, grâce à l'internalisation des cycles de vie de l'énergie et des matériaux. La technologie vise à « fermer le circuit » dans tous les processus productifs, à travers la récolte et le recyclage des ressources au sein de l'industrie. Pour ce qui concerne l'allure de la courbe, après une première hausse des émissions liées à l'investissement initial de reconversion technologique et l'incorporation des cycles, il y a une deuxième phase de descente en flèche où les bénéfices sont visibles.

Chaque processus industriel est amélioré technologiquement (upgrade) pour utiliser moins d'énergie, voire devenir producteur d'énergie, et utiliser la matière recyclable ; avoir de cycles de recyclage infinis et courts, associés aussi directement au ré-emploi. Une nouvelle industrie du recyclage, en réseau, est déployée. Le développement et la transformation industrielle se font en privilégiant les axes de mobilité structurants en parallèle de la « smart grid énergétique » (IIIème révolution industrielle, Rifkin - 2016). Des crédits CO2 sont repérés sur le marché européen et mondial.

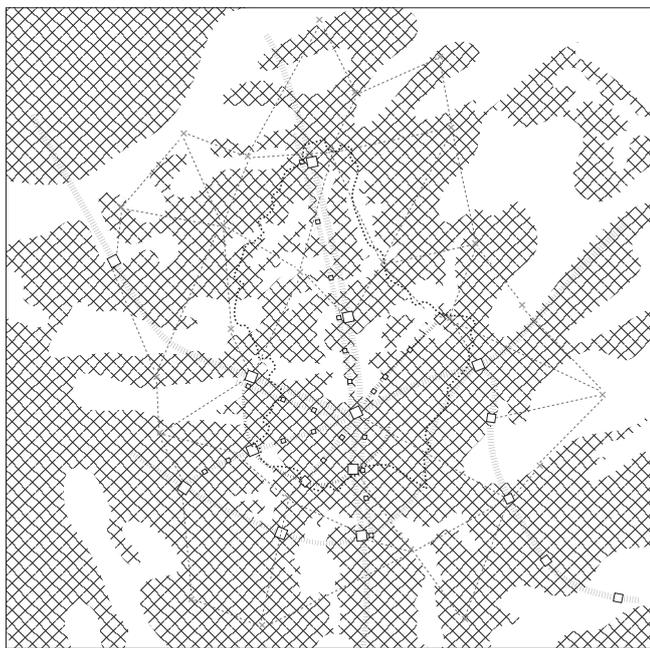
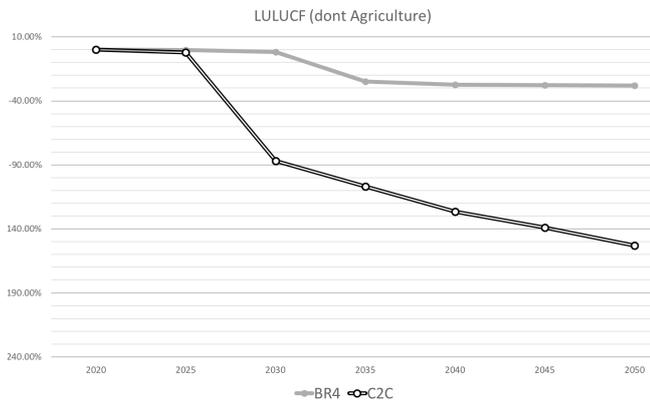
c. Transition de l'industrie et du travail

L'État va jouer un rôle de démonstration, de motivation et enfin de réglementation. Mais ce sera le secteur privé qui agira en fonction de la distribution du risque (attente de rémunérations fortes en cas de risque financier élevé). Dans cette perspective, le soutien à la recherche, le développement de pilotes incorporant les surcoûts, la démonstration du caractère viable de la transition opérée sont des facteurs considérables de réduction du risque.



Extrait de l'Archive de l'Imaginaire, en construction

UTCATF, usages et changement du sol, surfaces agricoles, urbaines, « naturelles »



-  *hub agricole, production et élaboration sous serres froides en contexte urbain*
-  *hub agricole local, collecte et élaboration de nourriture*
-  *fermes et production en réseau*
-  *tapis agricole 100% nourriture*



Extrait de l'Archive de l'Imaginaire, en construction

Les nouvelles technologies (techno nature, génie végétal) augmentent l'efficacité énergétique, réduisent les émissions et leur impact sur les écosystèmes, augmentent l'utilisation efficace des ressources et des écosystèmes naturels. Une série de services écosystémiques ressort des nouveaux écosystèmes, nouveaux assemblages d'espèces, de faune et flore.

a. Surfaces urbaines

Dans les zones urbaines, les espaces verts sont renforcés ; des toitures vertes, des jardins, parcs. Dans le cas des surfaces scellées, une transition progressive vers des prairies est planifiée (20% en 2020, 40% en 2025 et 60% en 2030) permettant de passer d'une émission positive de 30.71 kT de CO₂ en 2019 à 8.56 kT de CO₂ en 2050 et de limiter fortement les îlots de chaleur. Les surfaces polluées vont être plantées (arbres à 50%) à partir de 2020 permettant de passer d'une émission positive de 2.70 kT de CO₂ en 2020 à 1.78 kT de CO₂ en 2050. Une partie des routes ont être dépayées (captation de 0,01 kT CO₂/km²) progressivement à 20% en 2020 et 40% en 2035 permettant de passer d'une émission positive de 25.63 kT de CO₂ en 2019 à 15.38 kT de CO₂ en 2050.

b. Surfaces agricoles

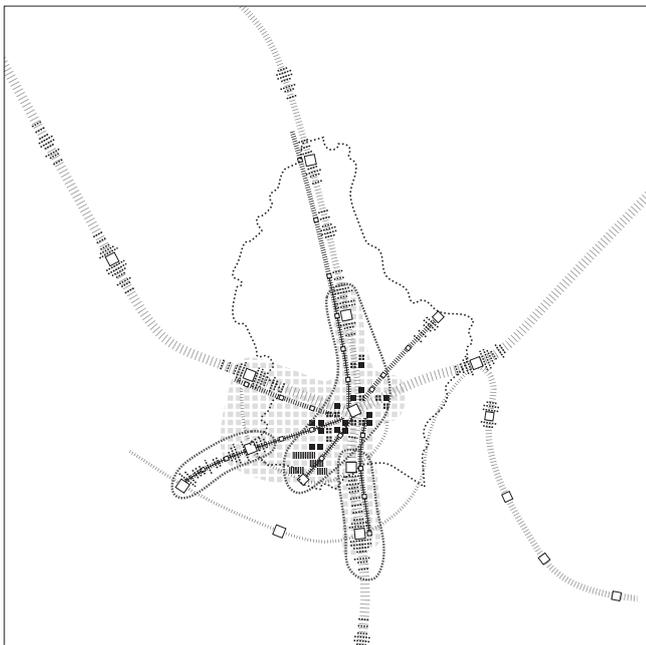
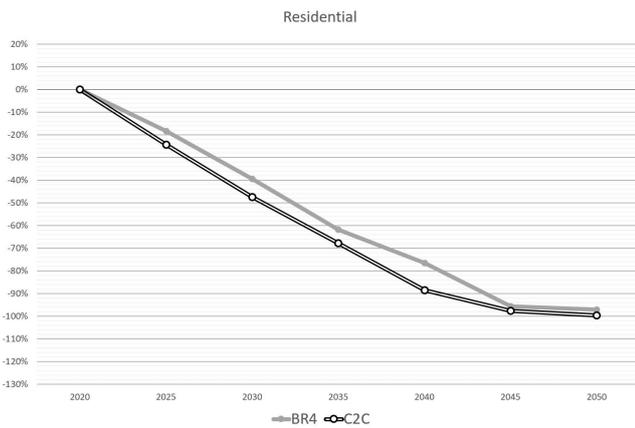
Une transition progressive des terres arables vers une agriculture de conservation (captation de 0,05 kT/km²) est planifiée (60% en 2030 et 80% en 2035) permettant de passer d'une émission positive de 307.58 kT de CO₂ en 2019 à 38.47 kT de CO₂ en 2050. Les cultures spéciales vont être converties en des cultures hybrides (captation de 0,03 kT/km²) à 100% en 2030 permettant de passer d'une émission positive de 22.42 kT de CO₂ en 2020 à une captation de 1.26 kT de CO₂ en 2050. La plantation de haies bocagères et bosquets dans une logique de services écosystémiques est prévue avec une graduelle méthanisation des déchets de production de bois de chauffage. Les prairies agricoles vont être plantées avec des arbres (transition vers de l'agroforesterie intensive) progressivement (40% en 2030, 60% en 2040 et 80% en 2050) permettant de passer d'une émission positive de 359.12 kT de CO₂ en 2019 à une captation de 37.76 kT de CO₂ en 2050.

c. Surfaces boisées, forêts

Une transition progressive des zones boisées vers des forêts productives (dont le coefficient de captation est le même que l'agroforesterie) est planifiée, avec une progressive hausse des surfaces intéressées par ce changement : 10% en 2030 et 2035, 20% en 2040 et 2045, 30% en 2050. Cette opération réduit légèrement les absorptions de -282.48



Extrait de l'Archive de l'Imaginaire, en construction



-  densification TOD autour des gares ferroviaires des trains haute vitesse
-  densification des quartiers desservis par le transport commun métropolitain
-  agglomérations métropolitaines : «métropoles» transfrontalières et luxembourgeoises
-  restructuration interne de la ville compacte : surélévations, transformation des friches et zones commerciales en zones mixtes

ktCO₂e en 2019 à -260.28 ktCO₂e en 2050. Ils absorbent moins car la forêt productive est moins dense que la forêt traditionnelle.

Globalement, les absorptions dans le scénario Cradle-to-Cradle voient une augmentation de la capacité d'absorption des GES grâce à la partielle re-naturalisation des surfaces : on passe de +469 ktCO₂e en 2019 à -248 ktCO₂e en 2050. (Sources : Expertise équipe, EPFLausanne, ULiège).

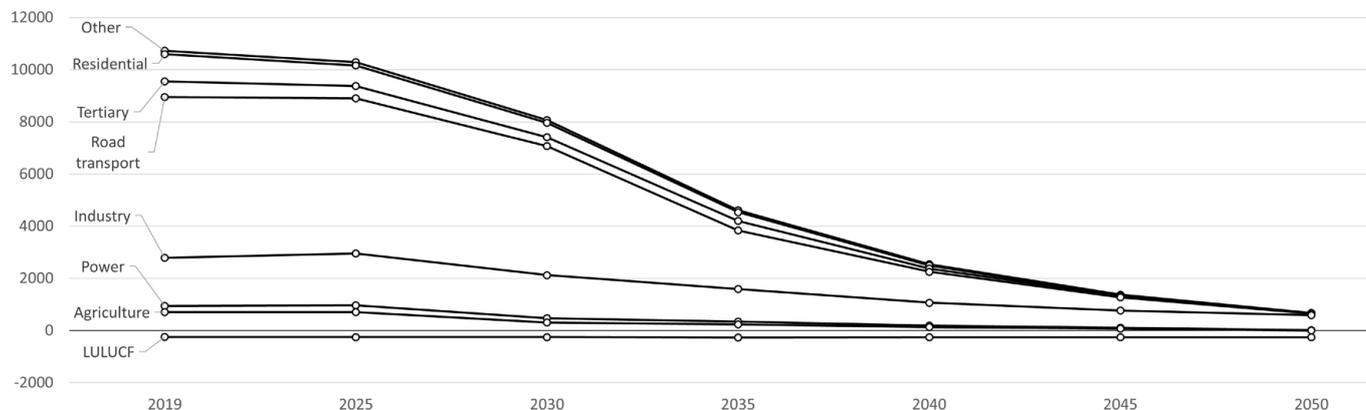
Habiter : structure spatiale et établissement humain

La forme de la ville et les stratégies liées au bâti, dans cette vision du monde, sont liées aux choix de transports (un strict TOD - *transport oriented development*) qui relie avec autoroute et chemins de fer les nœuds d'un système de « villes/conurbations compactes ». Les synergies énergétiques définissent des E-hubs (Energy hubs) qui seront à la fois lieux de production, transformation et consommation de la matière et de l'énergie. Ils s'appuient à la structure existante et à l'efficacité de la production agricole. La ville devient en même temps plus compacte et plus dispersée.

Le renforcement des pôles de transport absorbe une partie consistante de la croissance envisagée, +400.000 nouveaux habitants à l'horizon 2050 (STATEC). Des nouvelles conurbations se dessinent entre la Ville, le sud des friches à réutiliser (Esch-sur-Alzette, Differdange, Dudelange, Ehlerange, ...), et le nord (par exemple la Nordstad avec Ettelbruck et Diekirch, ...) grâce aux deux nouvelles lignes de tramway et au réseau de bus ; à proximité des gares autour de la frontière se développent les « métropoles transfrontalières » (entre Mondorcange et Boulange à l'horizon 2030). A l'intérieur de la Ville, une partie non négligeable du stock de bureaux peut être massivement reconvertie en d'autres fonctions. La ville est densifiée et requalifiée avec la diminution massive des consommations relatives au bâti. Le reste du territoire non desservi par le transport en commun est un parc productif et habité, utilisé via la voiture électrique. Les différentes stratégies contribueraient à situer la moitié de la croissance à l'intérieur du Luxembourg et le reste en position transfrontalière.

Déjà dans le BR4 la catégorie « résidentiel » joue un rôle fondamental dans la réduction des GES. Le C2C envisage un paquet d'actions comparables à celles contenues dans le rapport, c'est pourquoi la courbe est très semblable à l'allure du rapport BR4. La stratégie générale voit un investissement massif dans l'efficacité énergétique des bâtiments, soutenue par des aides financières de l'état, qui se reflète dans la hausse des émissions du secteur de l'industrie, censé produire les nouvelles installations à haute performance.

Cradle-to-Cradle, conclusion : la chronologie de la transition

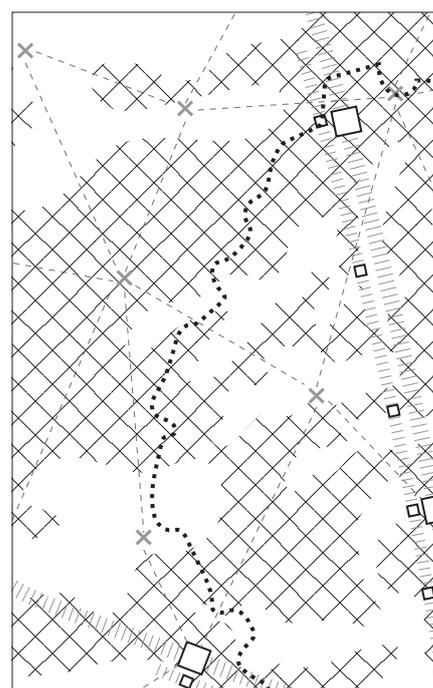
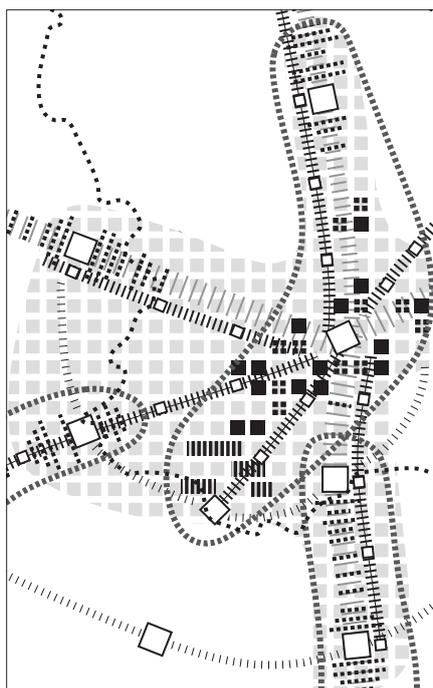
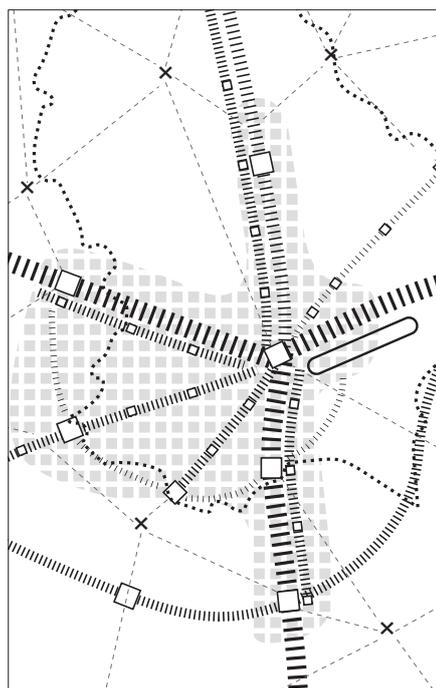


La forme de la courbe du C2C révèle une décroissance non uniforme entre 2019 et 2050. La nature de la vision engendre en effet une forme « en vague ». Dans les premières années, les investissements en recherche et reconversion de la production gardent la courbe plus au moins au même niveau de départ, voire augmentent la totalité des émissions. Dans le court terme, après 2025 le retour en termes de réduction des émissions commence à être visible. Les émissions baissent de façon rapide jusqu'en 2035. Le point d'inflexion dans la courbe marque le passage à une réduction moins importante qui continue jusqu'en 2050.

L'objectif de la neutralité carbone à l'horizon 2050 ne pourra être atteint considérant que la demande de déplacement nécessitera toujours la production d'une énergie, ainsi que la construction et l'entretien d'infrastructures et la mise à niveau du parc de transport.

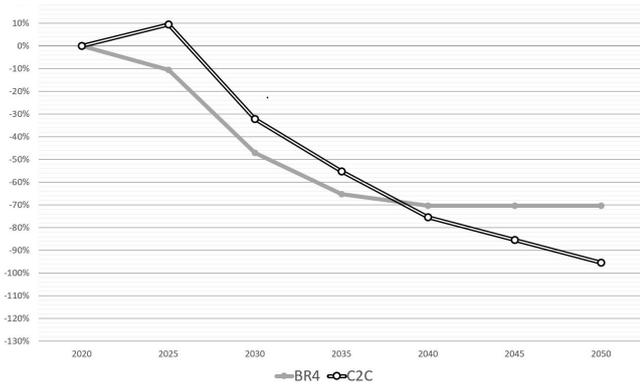
La question qui se pose est celle de la difficulté à fermer complètement les cycles, d'où l'importation pour compenser les pertes et satisfaire la logique de demande de consommation de produits.

La courbe parle d'une réduction des émissions de GES qui ne met pas en discussion le modèle socio-économique d'aujourd'hui et qui cherche à mettre en place la transition en faisant appui sur l'innovation et la technologie, menés par la recherche et implémentés par l'industrie. L'acteur principal de ce type de transition reste le privé, qui devient de plus en plus présent en prolongeant la logique du profit dans beaucoup d'aspects de la société. L'échelle de la gouvernance à laquelle les décisions sont prises reste la même : les états nations gardent leur autonomie et niveaux de coopération alors que le secteur privé établit des synergies internationales et poursuit ses intérêts dans une logique de globalisation.



Note : Les projections de réduction, échelonnées dans le temps, sont calculées et/ou conjecturées à partir du pourcentage de potentiel de réduction (PEC), issu du calcul entre WAM et WEM décrit dans la méthodologie (BR 4 corrélié avec EEA).

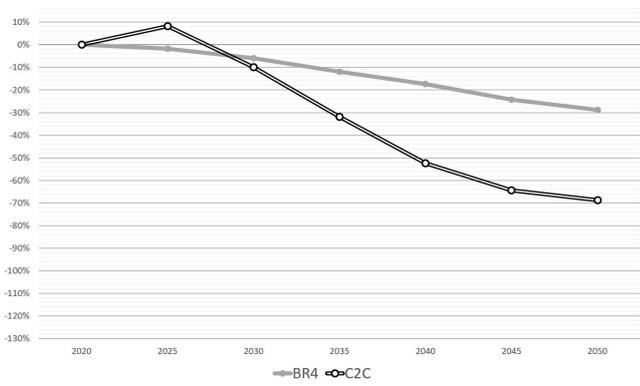
ENERGIE



Grands investissements dans les énergies renouvelables

- Recherche et développement à court terme de ressources technologiques
- eHubs : centralisation de la production d'énergie et stockage
- Politiques d'incitation à l'éolien et au solaire (individuels mais en réseau)
- Fermeture des cycles de vie des matériaux et de la production
- Centrales à biomasse
- Utilisation des déchets pour produire de l'énergie/chaaleur
- Absorption mécanique du CO2, filtres

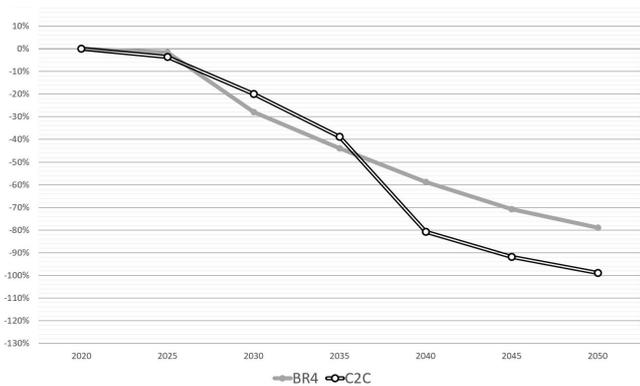
INDUSTRIE



Des cycles de recyclages infinis et courts

- Politiques incitatives pour l'investissement du secteur privé
- Haut niveau de technologie, vers un impact zéro
- Valorisation et recyclage de l'énergie pour les processus industriels
- Contraction des cycles et échanges, substitution à l'importation
- Taxes sur les énergies fossiles, incitation aux énergies renouvelables
- Marchés globaux de compensation des émissions de CO2
- Automatisation des tâches et process, optimisation énergie/production

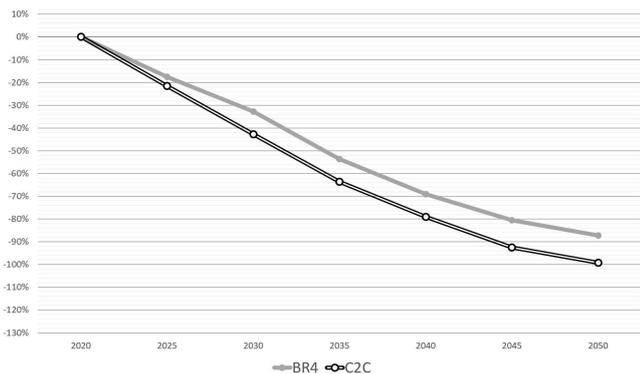
TRANSPORT



Liberté et optimisation des déplacements

- Articulation urbanisme/transport (TOD)
- Minimiser le recours au transport individuel par la fiscalité
- Nouveaux véhicules électriques individuels et partagés mis en réseau
- Gestion du trafic et de l'énergie par technologie numérique (A.I.)
- Les autoroutes existantes sont aménagées pour le transport en commun
- Remise en service des anciennes lignes de tram, trains à voies étroites
- Investissement pour la recherche d'un transport aérien propre

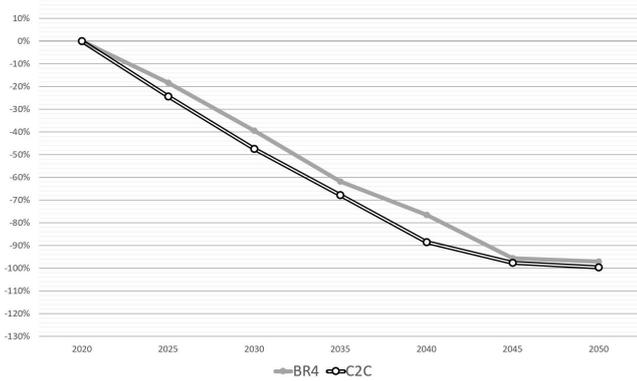
TERTIAIRE



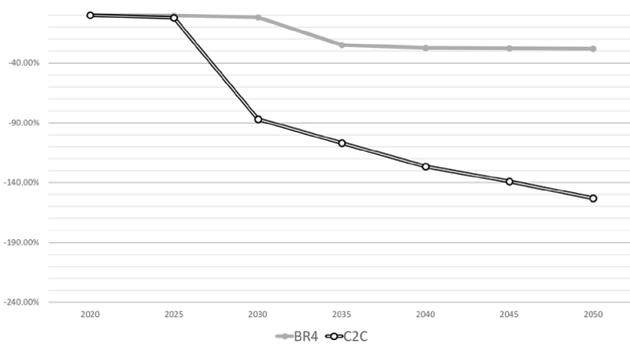
Vers une automatisation et une mise en réseau des services

- Développement des services en ligne, numérisation du secteur public
- Délégation de services publics transférés vers le secteur privé
- Smart digital network (e-commerce, e-bank, ...) du secteur privé
- Extension du télétravail suivant la numérisation des services
- Energie et chaleur issus du numérique valorisés
- Transformation des infrastructures du travail (bureaux à reconvertir)
- Poursuite des recherches sur le transhumanisme, intelligence artificielle

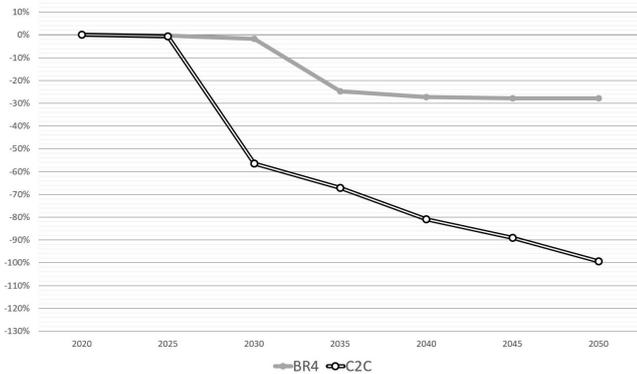
RESIDENTIEL



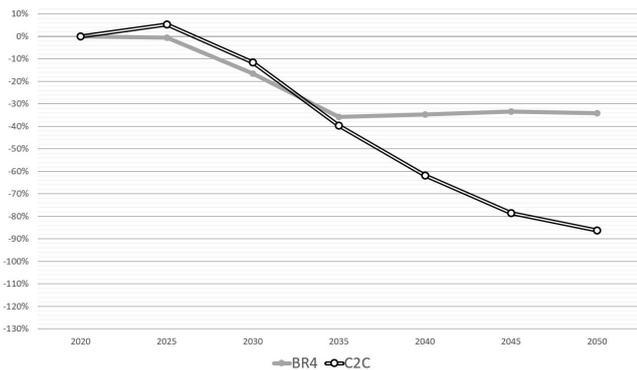
UTCATF (LULUCF) dont agriculture



AGRICULTURE



AUTRES



Articulation urbanisme/transport (TOD)

+ 400.000 hts : 50% au Luxembourg, 50% transfrontalier

Densification des pôles, conurbations et métropoles transfrontalières

Marché du logement basé sur l'offre et la demande

Hausse des objectifs de performance pour le nouveau bâti

Rénovation et isolation high-tech des habitations existantes

Ville compacte organisée autour des e-Hubs

Chauffage et électricité optimisés suivant la smart grid (numérique)

Techno nature pour conserver les absorptions de CO2

Spécialisation du territoire en fonction des services écosystémiques

Augmentation de la surface et capacité d'absorption des sols forestiers

Transition progressive des zones boisées en forêts productives

Végétalisation des espaces ouverts quand possible

Désimperméabilisation, végétalisation surfaces scellées quand possible

Plantation d'essences à pousse rapide, création d'excédent de biomasse

Monitoring des absorptions

Agriculture Smart

Transition d'une partie vers une agriculture de conservation

Agroforesterie intensive, eco-efficent, climate change smart

Conversion des cultures spéciales en cultures hybrides

Mécanisation et usage important des technologies, monitoring

Plantation de haies bocagères et bosquets, corridors-réservoirs

Elevage en circuit fermé, recyclage efficace du fumier

Régime alimentaire libre, alternatives proposées aux protéines carnées

Recyclage des déchets + réseau d'eau technologique

Tous les déchets sont recyclés (énergie, chaleur, matériaux, ...)

Relocalisation du traitement des déchets sur le territoire national

Intégration et monitoring des énergies grises

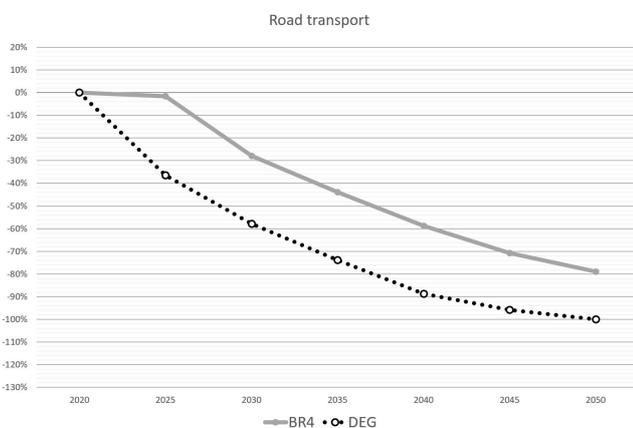
Gestion du stress hydrique par la technologie numérique

Réservoirs d'eau artificiels pour l'eau potable

Réseau séparatif pour les eaux usées, centralisation des traitements

De-growth (DEG)

La vision de-growth, en français « décroissance », est fortement critique des contradictions du système socio-économique actuel et y réagit d'abord par un changement de paradigme associé à une prise de position politique et sociale : en opposant un modèle socio-économique différent basé sur la sortie de la société de consommation, en proposant une sobriété « heureuse » (Pierre Rabhi, 2010) et une décroissance « sereine » (Latouche, 2007) qui engagent la société civile dans toutes ses composantes. Les noyaux de vie se resserrent et l'entraide, la réciprocité reprennent une forme intensive dans les économies (Polanyi, 1983; Laville, 1997). Si dans le C2C, la croissance associée au mode de consommation capitaliste reste la même, voire augmente, dans le DEG, c'est exactement en agissant sur une réduction (ou une reformulation sociétale) des objectifs de croissance actuels, qu'il est permis de faire chuter les émissions de GES.



- ⋯⋯⋯ voie ferrée, mobilité internationale
- ⋯⋯⋯ voie ferrée, mobilité transfrontalière et régionale
- ⋯⋯⋯ mobilité locale
- réseau vélo-route, connexions mobilité active
- ⋯⋯⋯ maillage TC local et horizontal, mini bus collectifs partagés et gratuits

Transport

a. Considérations générales

La vision se distingue par l'organisation en territoires regroupés autour de centralités auto-suffisantes : une structure polycentrique fine basée sur les interdépendances entre les différents noyaux. La chaîne de déplacements est fortement réduite car les principaux besoins sont rencontrés dans des périmètres très restreints. Le télétravail ainsi que le développement d'activités économiques locales permettent cette réduction drastique des distances entre les différentes activités humaines. Pour les plus longues distances, les véhicules sont partagés au sein de la communauté avec des comportements où la mobilité dans toutes ses composantes fait partie d'un bien commun. Le système ferroviaire est gardé en l'état. Les déplacements indispensables seront garantis à travers la technologie d'aujourd'hui ou celle d'hier. La nécessité de mobilité s'effondrera à cause de la proximité des services à la communauté. La chute presque immédiate des émissions décrite par la courbe correspond donc à la chute immédiate des consommations plutôt qu'à la réduction de la production ou à l'amélioration de sa performance énergétique.

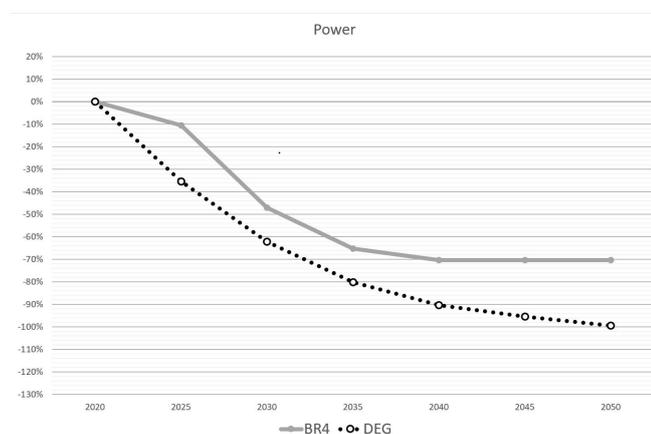
b. La mobilité des personnes

À l'échelle transnationale, la cellule rencontrant les besoins de la communauté, les motifs de déplacement transnationaux se réduisent fortement. Ces déplacements sont optimisés en les regroupant par communauté afin que le coût CO2 par passagers soit minimisé. Les travailleurs transnationaux de l'aire métropolitaine luxembourgeoise sont invités à s'installer durablement dans celle-ci en facilitant notamment l'octroi de la nationalité luxembourgeoise. L'autarcie des cellules ayant modifié radicalement l'écosystème actuel, le motif de déplacement professionnel longue distance est devenu anecdotique.

À l'échelle de la région fonctionnelle, la structure en aire métropolitaine se dissout/reconstruit en de multiples cellules indépendantes. Il n'y a donc plus de centralités polarisantes comme actuellement Luxembourg et dans une moindre mesure Belval. L'organisation de la mobilité entre cellule se réalise horizontalement par un maillage entre les cellules.



Extrait de l'Archive de l'Imaginaire, en construction



Extrait de l'Archive de l'Imaginaire, en construction

A l'échelle locale, l'essentiel des déplacements se fait à l'échelle locale dans un espace où la marche à pied et le vélo sont les modes les plus adaptés (l'e-vélo car le pays n'est pas plat), pour satisfaire l'accès aux différents équipements et infrastructures. L'organisation du réseau local est essentielle pour que l'usage des véhicules motorisés soit dissuadé.

c. La mobilité des marchandises

Les biens sont produits essentiellement localement avec des circuits logistiques de faible capacité. L'écosystème étant basé sur les circuits courts et l'économie circulaire, ce qui ne pourra être produit dans la cellule sera distribué au départ de plateformes décentralisées intégrées au réseau maillé entre les cellules.

Energie

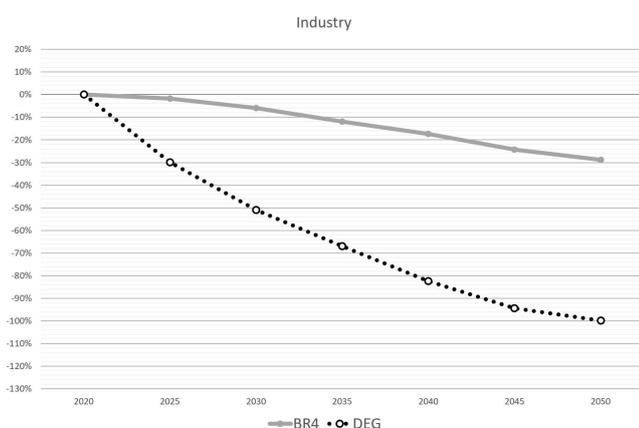
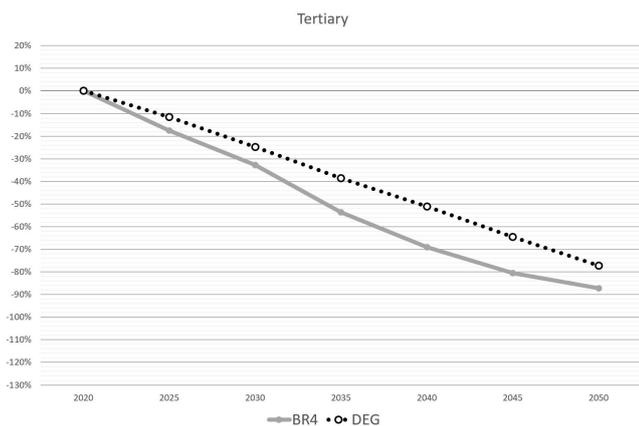
Dans le DEG, le réseau de production énergétique est décentralisé et sa gestion n'est ni publique ni privée, mais collective. L'investissement décrit dans la vision C2C n'a pas eu lieu et le type de solutions trouvées sont low-tech. Plus important, les consommations se sont effondrées à cause d'un changement radical de style de vie de la population qui utilise moins d'électricité, chauffe moins ses maisons, en même temps que l'industrie et le tertiaire ont réduit leurs demandes énergétiques. C'est pourquoi l'allure de la courbe est logarithmique et atteint de très bons résultats déjà à court terme.

Travail

La notion de travail ou d'emploi n'est plus liée à un marché, mais à un besoin. Les entreprises trouvent une échelle plus modeste, elles ne visent pas le bénéfice mais l'équilibre.

a. Tertiaire

Le type de travail voit une mutation et diversification : le pourcentage d'emplois aptes au télétravail diminue, et en même temps le télétravail est généralisé à chaque fois que c'est possible. On travaille depuis sa « cellule », pour sa « cellule » ou un réseau de cellules. Les cellules proposent des flex-offices, tiers lieux qui, en étant mutualisés, présentent des économies d'échelle et d'énergies. Le stock de bureaux peut être en partie reconverti en autres fonctions, unités de production des cellules (alimentation, workshops, ...).



L'investissement dans les réseaux numériques n'apparaît pas dans la vision DEG. Le type de travail aura tellement changé que la demande de mobilité aura également chuté. La réduction des émissions est liée aussi au passage d'une partie des emplois du secteur tertiaire (finance, assurance, immobilier) au secteur primaire (production et élaboration alimentaire) et par conséquent à la restructuration du rapport travail-logement, ayant par effet une forte réduction de la demande de mobilité. Le tertiaire sera réinventé dans le paradigme de la « caring society » où les services à la personne, comme les écoles et les hôpitaux seront au centre de la vie de la communauté.

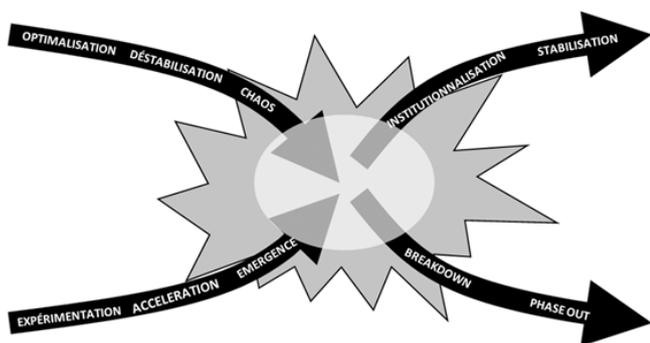
b. Industrie

En général, les industries vont décroître, avec une baisse de production liée à la diminution des consommations et à la longévité du produit, sans générer de surplus. La sélection des industries à maintenir sera liée aux nouveaux besoins. De nouvelles industries/ateliers de maintenance, reconditioning, réparation seront développées et décentralisées. Les technologies seront low tech. Il y a aussi un changement important de l'échelle à laquelle le processus est effectué : non plus dans une économie d'échelle de l'industrie au niveau global, mais à l'échelle locale, et en réseau entre cellules. Pour cette raison, la forme de la courbe suit celle de la catégorie « énergie ». Par contre, l'industrie de la santé semble difficilement compressible. Toutefois, grâce aux nouveaux styles de vie, le niveau de santé s'améliore et le modèle communautaire et solidaire permet d'imaginer le développement d'une nouvelle culture et économie du care, intergénérationnelles, de lien social et de prévention.

c. Transitions de l'industrie et du travail

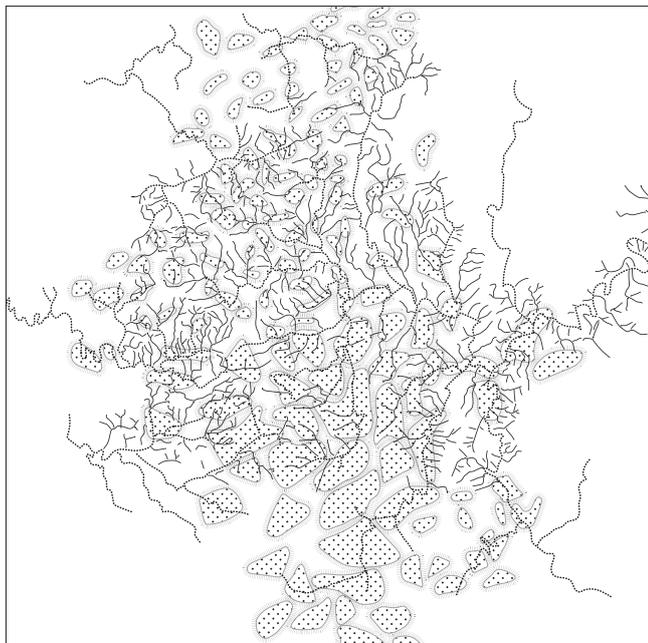
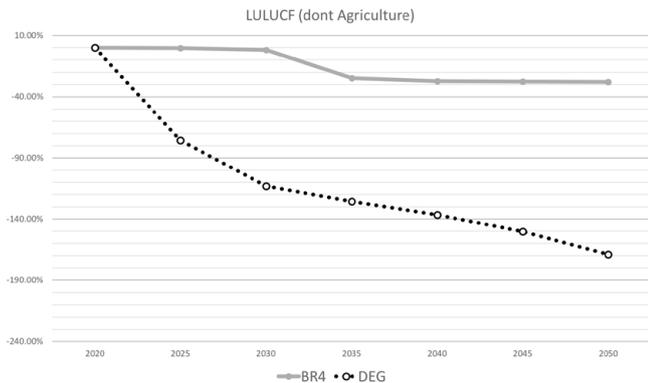
Une trajectoire de transition est organisée pour envisager de faire évoluer le système économique et productif. La théorie du changement élaborée par Loorbach est une synthèse intéressante du chemin à parcourir avec les opérateurs. Il est d'ailleurs proposé de la tester dans la deuxième phase de la consultation. Cette approche considère « la dynamique des transitions sociétales en tant que processus itératif d'accumulation et d'effondrement ». Les « agents du changement » expérimentent les alternatives. Une pression se génère, et entraîne une « déstabilisation à mesure que les alternatives commencent à s'accélérer et à émerger ». La transition perturbatrice et chaotique anticipe l'émergence d'un nouveau régime. « Dans ce processus, les éléments d'un ancien régime qui ne se transforment pas sont décomposés et éliminés progressivement. » (Loorbach, 2017).

Une dynamique semblable au Cradle to Cradle mérite néanmoins d'être développée suivant la séquence : recherche, formation, démonstration, généralisation dans l'action publique exemplative, objectivation des diminutions de risques financier, partenariats avec les acteurs privés et enfin contrainte ou compensation.



LOORBACH et al. (2017), *Sustainability Transitions Research: Transforming Science and Practice for Societal Change*.

UTCATF, usages et changement du sol, surfaces agricoles, urbaines, « naturelles »



-  *cours d'eau majeurs*
-  *cours d'eau secondaires, système capillaire*
support de la production de nourriture locale à l'échelle des cellules
-  *couronne à vocation «horticole», agriculture de conservation*
-  *production urbaine et individuelle dans les espaces ouverts résiduels valorisés*
-  *agroforesterie et forêt*

La valeur sociale des services écosystémiques est monétisée et les surfaces des aires protégées ainsi que les corridors écologiques augmentés. Des options de gestion intelligente face au climat favorisent la productivité en réduisant la pression sur les écosystèmes (par exemple, l'agroforesterie). Réduction de la consommation des ressources et de l'énergie – vers des autonomies locales ; la réduction de l'agriculture à grande échelle promeut la biodiversité et le reboisement.

a. Surfaces urbaines

Dans le cas des surfaces scellées, une transition progressive vers des prairies boisées est planifiée (20% en 2035, 40% en 2040 et 60% en 2050) permettant de passer d'une émission positive de 30.71 kT de CO₂ en 2019 à 8.56 kT de CO₂ en 2050 et de limiter les îlots de chaleur. Création de forêts en ville. Les surfaces polluées vont être plantées avec des arbres à 100% à partir de 2030 permettant de passer d'une émission positive de 2.70 kT de CO₂ en 2020 à une captation de 0.07 kT de CO₂ en 2050. Une partie des routes sera déparvée progressivement à 20% en 2045 et 40% en 2050 permettant de passer d'une émission positive de 25.63 kT de CO₂ en 2019 à 15.04 kT de CO₂ en 2050.

b. Surfaces agricoles

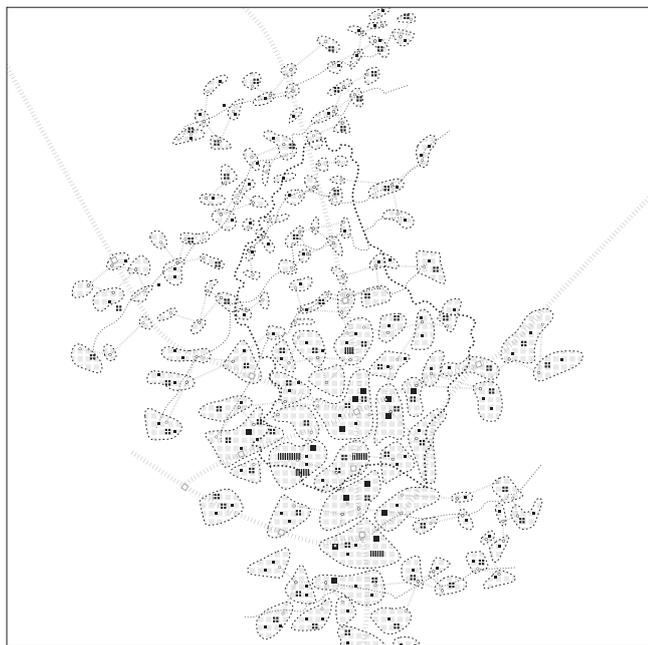
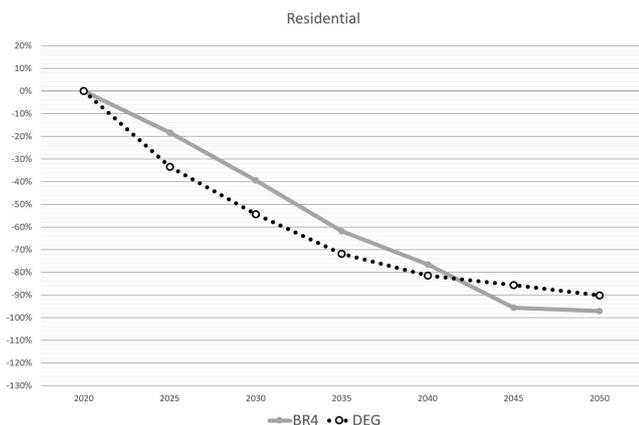
Dans le cas de l'agriculture, une transition progressive des terres arables vers une agriculture de conservation (100% en 2025) puis de l'agroforesterie (50% en 2030) est planifiée permettant de passer d'une émission positive de 307.58 kT de CO₂ en 2019 à une captation de 37.45 kT de CO₂ en 2050. Diversification des cultures et réduction de l'élevage avec un redécoupage parcellaire en plus petites entités pour des productions d'échelles communautaires dans un système forêt-jardin. Les cultures spéciales vont être converties en des cultures hybrides à 100% en 2025 permettant de passer d'une émission positive de 22.42 kT de CO₂ en 2020 à une captation de 1.26 kT de CO₂ en 2050. Les prairies agricoles vont être progressivement plantées avec des arbres (transition vers de l'agroforesterie intensive) progressivement (40% en 2040, 60% en 2045 et 80% en 2050) permettant de passer d'une émission positive de 359.12 kT de CO₂ en 2019 à une captation de 6.07 kT de CO₂ en 2050. Diversification des paysages locaux pour augmenter la production de l'agriculture et de l'énergie avec augmentation des surfaces boisées sur les secteurs agricoles aujourd'hui ouverts. Remise en pratique de rotations culturales et jachères pour ne pas épuiser les sols.

c. Surfaces boisées, forêts

Une transition progressive des zones boisées vers des forêts productives (dont le coefficient de captation est le même de



Extrait de l'Archive de l'Imaginaire, en construction



-  *restructuration interne des villes et villages : densification fine, transformation des friches et zones commerciales en zones mixtes*
-  *constellations civiques, réseau horizontal de partage de services et infrastructures*
-  *réseau vélo-route, connexions mobilité active*
-  *mobilité locale partagée entre villages*
-  *maillage TC local et horizontal, mini bus collectifs partagés et gratuits*

l'agroforesterie) est planifiée, avec une progressive hausse des surfaces intéressées par ce changement : 10% en 2025, 20% en 2030 et 2035, 30% en 2040, 2045 et 2050. Le défrichage de certaines parties de la forêt pour la mise en culture réduit légèrement les absorptions de -282.48 ktCO₂e en 2019 à -260.28 ktCO₂e en 2050. Assemblés avec l'agriculture qui devient source de captation, et la diminution des émissions des surfaces urbaines, la perte engendrée par la forêt productive est balancée. Le couvert forestier reste en plus grande quantité que dans le 1er scénario car on produit de l'agriculture dans les régions forestières sur le principe de forêt-jardin.

Globalement les absorptions dans le scénario Degrowth voient une meilleure augmentation de la capacité d'absorption des GES grâce à la re-naturalisation et au changement significatif des techniques et des surfaces agricoles : on passe de +469 ktCO₂e en 2019 à -322 ktCO₂e en 2050. (Sources : Expertise équipe, EPFLausanne, ULiège)

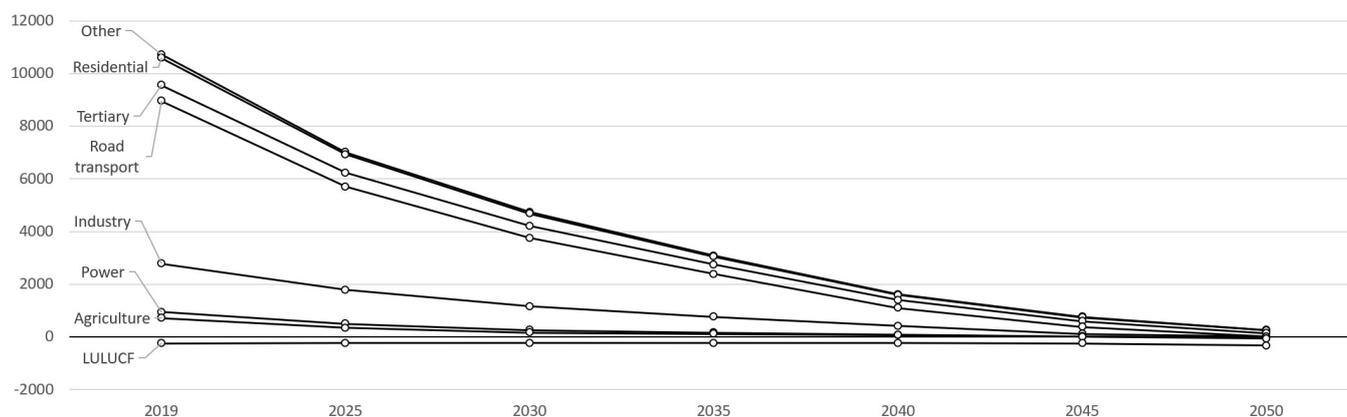
Habiter : structure spatiale et établissement humain

La structure spatiale à la plus grande échelle est celle des villages/villes, à la taille contenue et directement liée aux lieux de production alimentaire. Des formes de solutions low-tech pourront satisfaire les besoins des ménages à travers la récupération d'anciennes méthodes de production d'énergie (moulins, hydraulique, ...).

La vision postule une structure territoriale de proximité se répartissant en cellules autonomes ou semi-autonomes. Dans ce cas, la proximité au lieu de travail est intrinsèque à la structure spatiale des établissements humains. La forme habitable de la cellule aura comme centre le village/la ville où convergent les ressources qui garantissent la vie des communautés. Les hypothèses de croissance sont réduites de la moitié en considération d'une attractivité moins importante de la région fonctionnelle et de l'impact de reterritorialisation généralisée aussi dans les autres pays : + 100.000 habitants à l'intérieur du Luxembourg dans le tertiaire actuel, dans les espaces de la voiture reconvertis à d'autres usages, dans les friches industrielles, dans la densification fine liée à la requalification énergétique du bâti, ... + 100.000 distribués à proximité des gares, et diffus (aussi en relation aux noyaux transfrontaliers en formation).

Les cellules sont interdépendantes et réécrivent les systèmes territoriaux actuels par des « constellations civiques » qui permettent de réaliser des degrés d'autonomie sur les différents thèmes. Ce jeu d'échelles nécessitera des intensifications urbaines (services, ...) et des densifications (nouveaux habitants et logements) pour rendre suffisamment articulée et robuste chaque « constellation civique ».

De-Growth, conclusions : la chronologie de la transition



Le DEG voit une réduction immédiate des consommations et pour cette raison s'avère plus efficace que les autres dans le court terme.

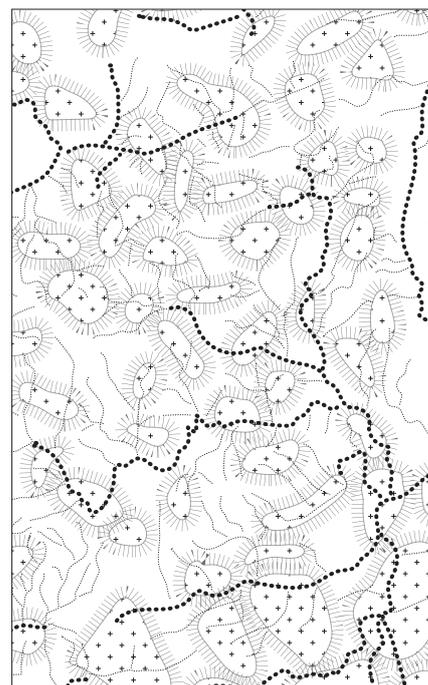
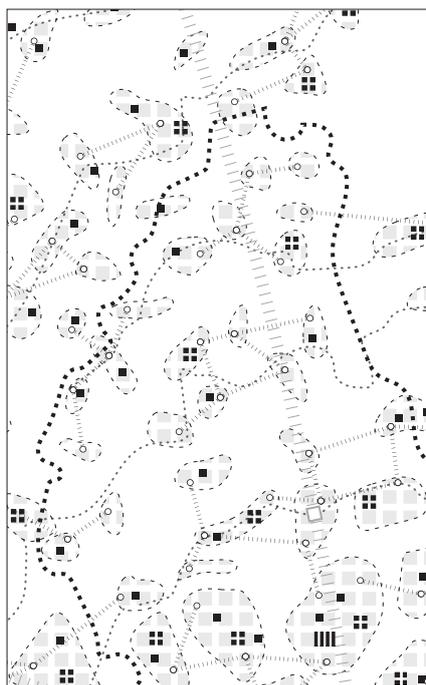
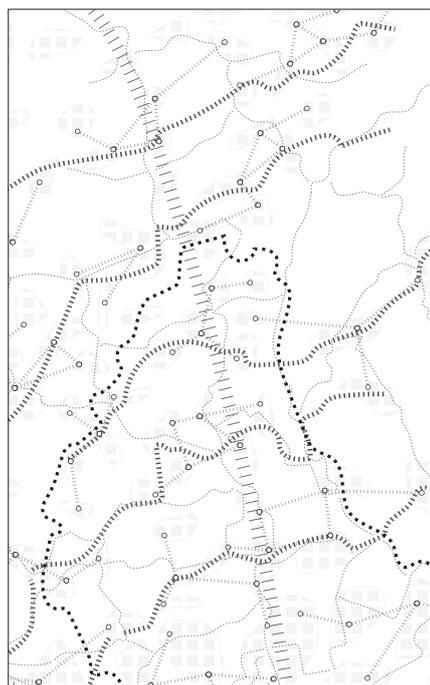
La courbe montre une allure constamment décroissante en forme logarithmique. Dans les 30 ans qui nous séparent de l'horizon 2050, le plus grand changement est représenté par la réduction des émissions dans les 15 premières années, alors qu'après 2035 la réduction des émissions n'a pas besoin d'être aussi importante car elle bénéficie et capitalise sur les efforts précédents. Cette chute est principalement liée à la forte réduction des consommations et à la transformation radicale du modèle socio-économique actuel.

Le type d'activités, la qualité et la quantité des cycles de vie des ressources et de l'énergie seront réduits à une échelle beaucoup plus petite, même plus petite que celle de l'état nation. La valeur d'échange perd son importance en faveur

de la valeur d'usage et provoque un bouleversement de l'économie telle que connue aujourd'hui. Le don, l'échange et la solidarité représentent une partie importante de la vie des communautés.

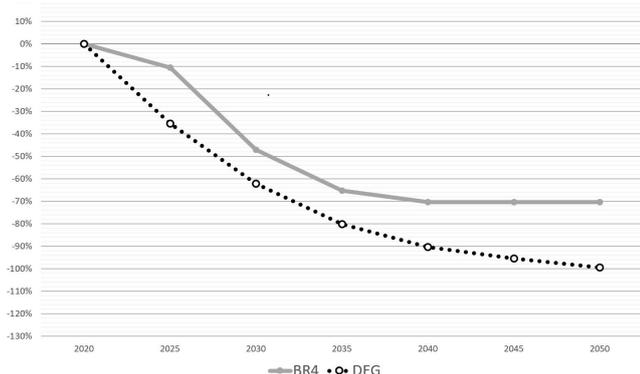
En effet, la vision de-growth propose un type de gouvernance à plus petite échelle que celle d'aujourd'hui. Il s'agit d'une véritable prise du pouvoir de la part des citoyens qui remettent en marche une filière de production locale, qui créent une alternative à la globalisation. Si ce modèle socio-économique nie parfois les capacités d'avancement technologiques en redécouvrant des solutions « low tech », il ne le fait pas au détriment du confort et de la qualité des services.

L'être humain ne renonce pas à sa centralité dans le monde, mais se fédère dans des cellules, où il peut exercer son pouvoir et prospérer, tout en atteignant les objectifs de la transition.



Note : Les projections de réduction, échelonnées dans le temps, sont calculées et/ou conjecturées à partir du pourcentage de potentiel de réduction (PEC), issu du calcul entre WAM et WEM décrit dans la méthodologie (BR 4 corrélié avec EEA).

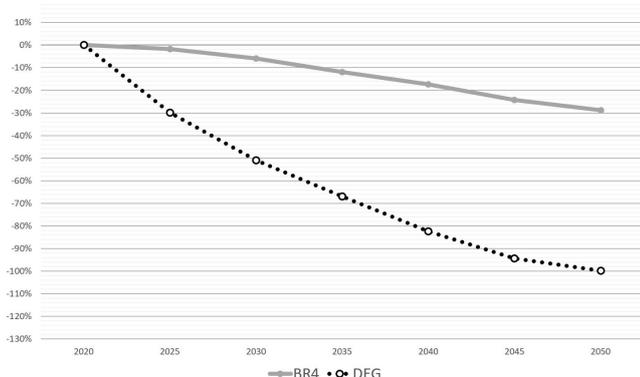
ENERGIE



Production low-tech, limitée et décentralisée

- Gestion décentralisée et collective de la production/dépense
- Production à partir de biomasse par combustion et méthanisation
- Quota de consommation par personne/unité de production/cellule
- Synchronisation entre disponibilité et utilisation de l'énergie
- Energies locales : eau cinétique, éolien mécanique, solaire thermique
- Fermeture progressive des infrastructures liées aux énergies fossiles
- Arrêt des investissements sur l'approvisionnement d'énergie étrangère

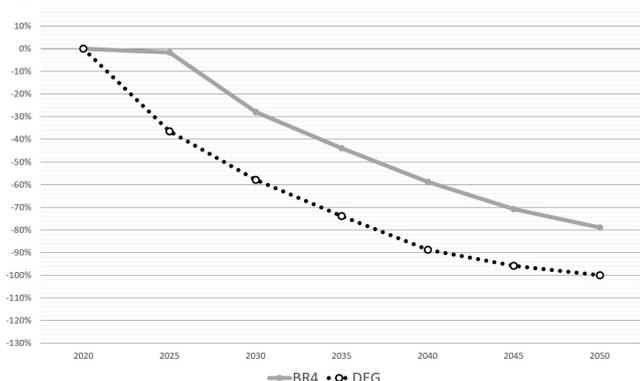
INDUSTRIE



Des usines à la manufacture, de la consommation au ré-emploi

- Niveau de technologie low-tech
- Mixte industriel minimal nécessaire et transition/fermeture du reste
- Mesures compensatoires des processus industriels non compressibles
- Arrêt de l'extraction et utilisation de matières non renouvel./réutilisables
- Soutien public au ré-emploi, à la maintenance et à la réparation
- Solidarité des ressources et compétences entre unités de production
- Fermeture des marchés globaux de compensation des émissions

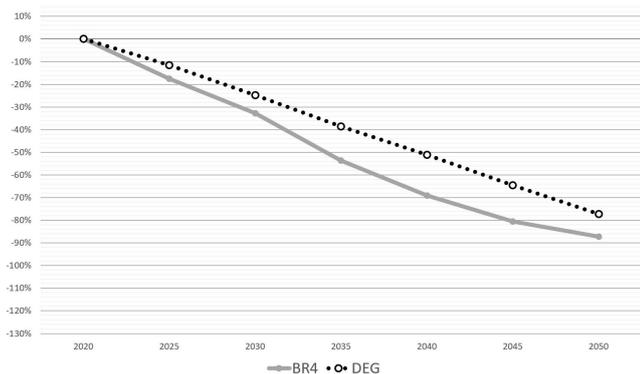
TRANSPORT



Structures polycentriques inter-connectées

- Proximité des activités pour réduire les besoins de mobilité
- Transformation de l'espace des mobilités, favoriser marche et vélo
- Voitures électriques collectives pour trajets inter-cellules
- Quotas pour longs voyages, utilisation des technologies actuelles
- Transport en commun horizontal et principe de gratuité maintenu (bus)
- Réseau ferré maintenu, pas d'investissements (hors maintenance)
- Réduction des capacités logistiques, maillage sur transport en commun

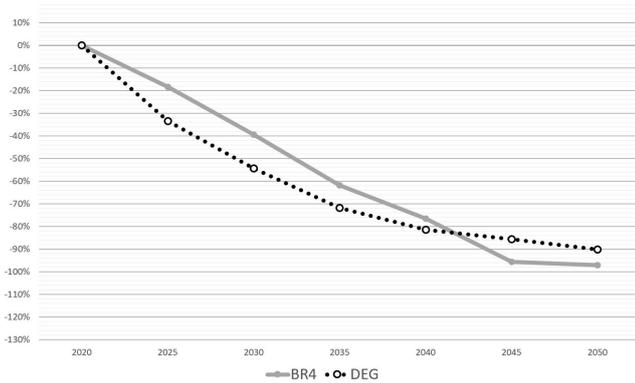
TERTIAIRE



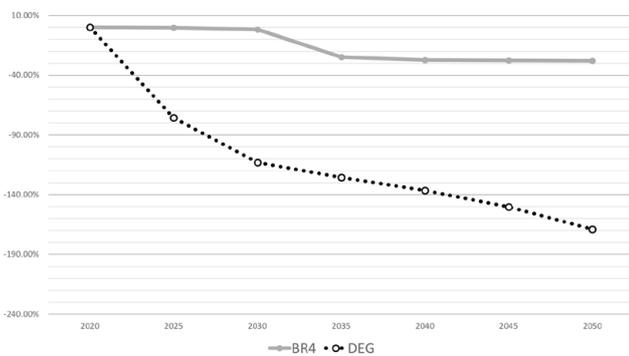
De la logique de marché à celle du besoin

- Télétravail lorsqu'il est possible (infrastructures numériques existantes)
- Perte d'effectifs, mutations vers les secteurs primaires et quaternaire
- Services conservés nécessaires, freinant la logique de consommation
- Réutilisation des infrastructures de bureaux excédentaires
- Mutualisation et solidarité des espaces de travail dans les cellules
- Principe de "caring society" intra/extracellulaires (hôpital, écoles, ...)
- Ambitions 4^e et 5^e secteurs : éducation, travail social, communautaire

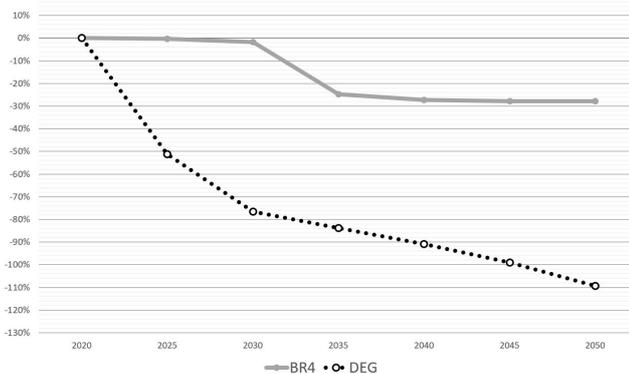
RESIDENTIEL



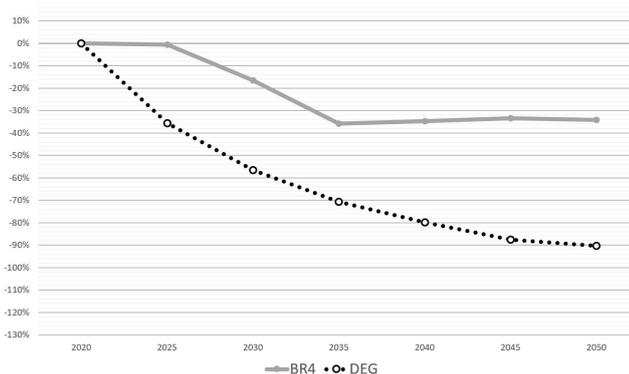
UTCATF (LULUCF) dont agriculture



AGRICULTURE



AUTRES



Les cellules, des centralités auto-suffisantes

- + 200.000 hts : 50% dans l'existant, 50% à proximité des frontières
- Structure de cellules auto-suffisantes, non spécialisées et connectées
- Synergies d'échelles entre densité, énergie et production alimentaire
- Isolation du bâti avec des matériaux renouvelables organiques
- Redéfinition collective des indicateurs de confort
- Inciter le "do it yourself" par la formation, intégré à la communauté
- Partage collectif des espaces et des biens, entraide (solidarité)

Une gestion collective des puits de carbone

- La valeur sociale des services écosystémiques est monétisée
- Augmentation des surfaces protégées et corridors écologiques
- Création de forêts urbaines (zones polluées, espace pris sur la voiture)
- Transition progressive des zones boisées en forêts productives
- Augmentation de la surface et capacité d'absorption des sols forestiers
- Création importante de biomasse et bonne production agricole
- Désimperméabilisation, végétalisation surfaces scellées quand possible

Agriculture de conservation et kilomètre zéro

- Système de forêt-jardin productif auto-géré
- Augmentation de la masse de travail et de travailleurs du secteur primaire
- Le sol n'est plus labouré, agriculture de conservation et agroforesterie
- Echelle de production locale, accordée à la taille et densité des cellules
- Réduction de l'élevage et redécoupage parcellaire en petites entités
- Régime alimentaire défini par l'offre, faible teneur en protéines carnées
- Diversification des cultures spéciales en cultures hybrides

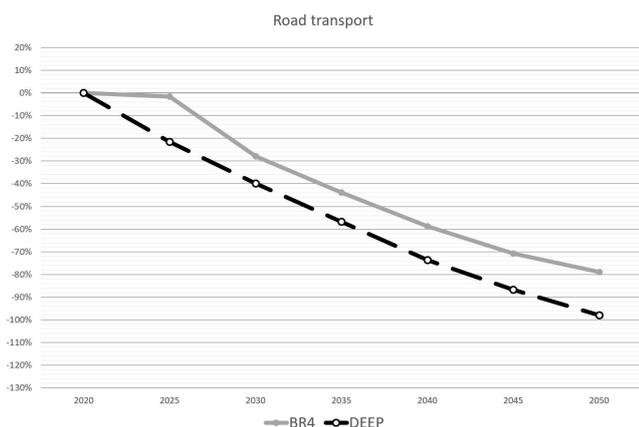
Réduction des déchets + traitement de l'eau décentralisé

- Le déchet devient un ultime recours, lorsque la réparation a échoué
- Séparation et réutilisation complète des composants des déchets
- Diminution des émissions fugitives dues à la combustion
- Redéfinition collective des domaines et besoins d'utilisation de l'eau
- Réseau de traitement des eaux usées décentralisé, sans apport d'énergie
- Respect et mise à profit des cycles de l'eau, comme service écosystémique

Deep Ecology (DEEP)

La vision deep ecology, en français « écologie profonde » s'appuie sur les écrits d'Aldo Leopold et Arne Naess. Elle touche premièrement à une question éthique et donc philosophique : la valeur intrinsèque du vivant, des écosystèmes et des biotopes, systèmes complexes qui interagissent, en écologie, les uns avec les autres, au-delà de leur utilité aux intérêts humains.

Éthique environnementale et éco-centrisme sont opposés à la vision anthropocentrique qui caractérise les deux visions précédentes. Le droit à la vie sous toutes ses formes est considéré comme « un droit universel qui ne peut pas être quantifié » (Naess, 1973) et aucune espèce n'a plus de droit que d'autres. Notre être dans le monde devient être avec le monde, en faire partie. C'est une vision systémique qui recherche des équilibres dynamiques, toujours en cours d'adaptation et d'évolution.



-  réseau ferroviaire adapté pour ne pas faire obstacle aux couloirs et entités écosystémiques
-  réseau fluvial, système support de la mobilité active
-  réseau vélo-route, connexions mobilité active «haute vitesse»
-  réseau mobilité active douce, chemins, pistes vélos, etc ...

Transport

a. Considérations générales

La vision Deep Ecology s'appuie sur une structure spatiale horizontale avec une hiérarchie souple entre les différentes composantes du territoire. Les déplacements seront résolus avec des moyens de « mobilité active » c'est-à-dire avec la combinaison des transports en commun, du partage de voitures électriques, de la marche à pied et du vélo. Là où les infrastructures de transport existantes sont les moins nuisibles aux écosystèmes, elles seront préservées et transformées pour le transport en commun. Dans les autres cas, des adaptations seront nécessaires. Évidemment cela comporte un ralentissement de la vitesse et une accessibilité lente, mais isotropique du territoire, plus hiérarchisée pour les vitesses plus élevées. La courbe reste linéaire pour garantir un niveau de confort acceptable avec des bénéfices significatifs pour la réduction des GES.

b. La mobilité des personnes

À l'échelle transnationale, la mobilité ne sera réalisée que par des moyens de mobilité ayant un impact minimal sur l'environnement. Les temps de parcours seront considérablement allongés afin de minimiser l'empreinte des déplacements. De plus, à l'instar de la vision De-growth, les motifs de déplacements professionnels longue distance auront disparu.

À l'échelle de la région fonctionnelle, la hiérarchie entre les centralités actuelles de l'aire métropolitaine aura considérablement diminué. Par contre, les chaînes de déplacements se seront complexifiées pour pouvoir assurer les motifs de déplacement permettant de rencontrer les besoins de la population tout en minimisant leurs impacts. La décentralisation des équipements sera maximalisée et ils seront de tailles plus réduites avec des usages plus intenses pour des petits groupes de population.

À l'échelle locale, les modes de déplacements seront adaptés à l'environnement avec un usage majoritaire des réseaux piétons et cyclables réduisant fortement la taille des infrastructures avec également pour objectif de diminuer l'imperméabilisation du sol.



Extrait de l'Archive de l'Imaginaire, en construction

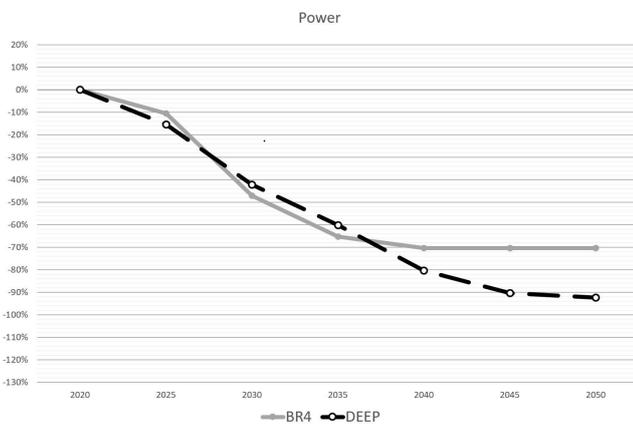
c. La mobilité des marchandises

Les besoins des populations se sont fortement réduits avec une demande orientée localement sans compromettre la viabilité du stock des ressources naturelles. Cette organisation nécessite une logistique réduite avec des réseaux de distribution de la production locale dans des faibles rayons d'action. Les importations extérieures à l'aire métropolitaine seront limitées.

Energie

Le but de la production énergétique est de garantir le confort des citoyens sans nuisances aux écosystèmes. Le réseau envisagé est redondant, donc capable de faire face aux stress (comme le changement climatique) et de s'adapter en suivant les disponibilités naturelles. En effet dans la vision, c'est la demande de consommation qui s'adapte à l'approvisionnement, à la fois fortement liée aux cycles naturels et à leur spatialisation sur le territoire. Comme pour le DEG, le réseau est décentralisé, mais au lieu d'être concentré autour des lieux de production pour la survie humaine, il est placé sur le territoire là où il est le moins impactant pour la biodiversité, sans nier le rôle que l'industrie pourrait avoir dans cette transformation, si bien guidée par la puissance publique.

La coopération autour des ressources (une forêt, un fleuve, etc.) s'étend et dépasse les limites administratives. Les écosystèmes dessinent les nouvelles unités territoriales. Dans cette vision, l'étude d'impact environnemental pour tout nouvel investissement guide le projet et la politique énergétique du pays, en établissant des cadres de coopération avec les pays avoisinants si la ressource naturelle traverse les frontières. En raison de la présence dominante du secteur public (un public revu au prisme des « communs »), la forme de la courbe est la plus directe : cela signifie que le système énergétique pourrait devenir le centre des politiques pour garantir la satisfaction des besoins primaires sans compromettre les espaces naturels et conséquemment les espèces qui les habitent.



Travail

Avec le changement de paradigme, habiter devient une expérience globale : j'habite dans le territoire que je participe à régénérer par mon travail.

a. Tertiaire

La vision a une allure similaire à la DEG, mais légèrement plus performante dans le long terme, puisque les technologies pour réduire les émissions des bâtiments ne seront pas



Extrait de l'Archive de l'Imaginaire, en construction

forcément low-tech comme dans le DEG et le secteur sera au service de la restauration des écosystèmes endommagés. Celle-ci entraîne une fédération de moyens lui donnant une efficacité pour l'ensemble des acteurs (Mazzucato, 2018 : Mission-Oriented Research & Innovation in the European Union). Des centres de recherche et d'expérimentation se localisent sur le territoire, dans une relation étroite à ses conditions. Le stock de bureaux, là où il va à l'encontre des logiques écologiques, pourra être déconstruit.

b. Industrie

Dans cette vision, le rôle de l'industrie n'est pas nié, sa puissance en termes d'innovation, de quantité et de rapidité est mise au service de la restauration des écosystèmes et, dans certains cas, de la dés-anthropisation du territoire (soin des paysages, assainissement des sols, désimpermeabilisation, restitution des extensions naturelles aux cours d'eau, renforcement du biomimétisme, ...).

La politique publique orientée par l'idée de « communs » prend les rênes de la transition en obligeant les industries non seulement à prendre en charge la globalité de leur processus (« fermer le circuit » comme dans le C2C) mais aussi s'engager à protéger les écosystèmes desquels elles prennent les ressources et à garantir la prospérité de la flore et de la faune qui les caractérisent.

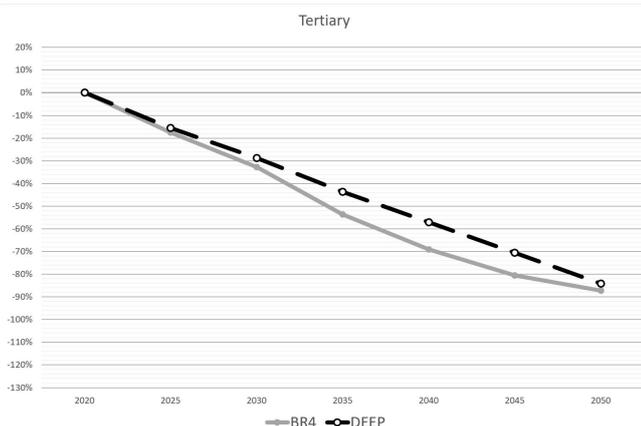
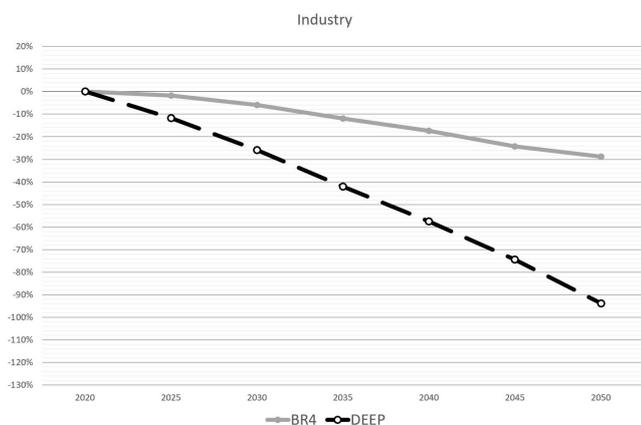
c. Transition de l'industrie et du travail

Contrairement aux deux autres visions, l'une avec un bouclage infini des cycles des matières, l'autre qui prône une rationalisation du mix industriel, cette orientation suppose de développer de nouvelles connaissances.

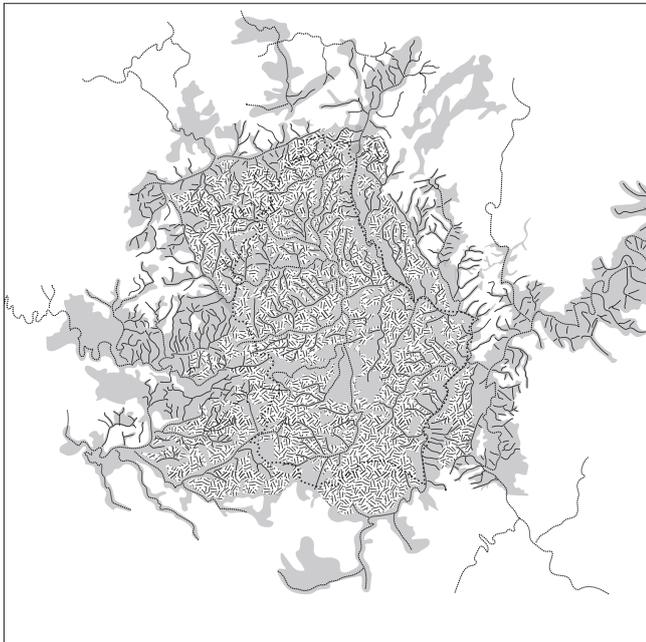
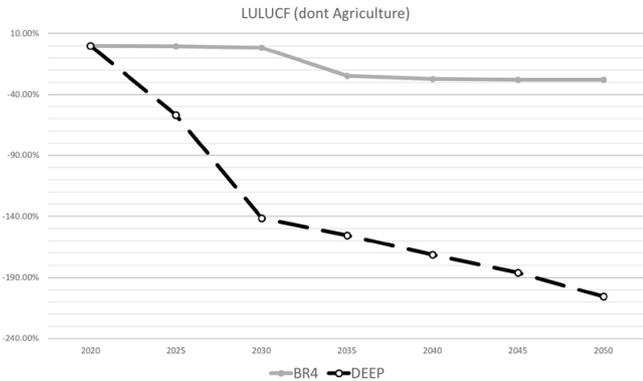
Elles doivent être développées sur deux plans : l'identification des priorités de régénération d'une part, l'investigation des techniques non destructrices d'autre part. Les formations professionnelles et continues doivent être mises en adéquation et les processus industriels doivent être adaptés à ces enjeux.

Cette dynamique repose enfin sur une sorte de keynésianisme vert. Un plan Marshall vert au niveau européen et national serait envisagé soutenu par l'investissement public et la propriété des connaissances et outils partagés. Il y a donc lieu de doper la demande par l'investissement public en créant un mouvement vertueux. Il est aussi évident qu'un type d'opération pareille nécessite une échelle de gouvernance plus large que celle du Grand-Duché du Luxembourg, par exemple à travers des coopérations internationales. S'agissant pour partie de la dynamique du Green Deal Européen, l'implémentation de la vision doit reposer sur une optimisation de l'accès aux fonds européens.

L'allure de la courbe trace une ligne constamment en descente qui atteint un résultat comparable à la DEG mais sans nécessairement renoncer à une économie d'échelle.



UTCATF, usages et changement du sol, surfaces agricoles, urbaines, « naturelles »



-  *cours d'eau majeurs, supports de nouvelles écologies*
-  *cours d'eau secondaires, système capillaire support de la production de nourriture locale à l'échelle des cellules*
-  *permaculture, espaces traités comme un jardin productif*
-  *forêt et agroforesterie, les espaces humides retrouvent leur centralité, nouvelles figures territoriales absorbant CO2 et produisant de la nourriture*

Cette vision considère la capacité de charge des écosystèmes comme une mesure pour évaluer leur santé. Elle est centrée sur leur restauration et sur le changement de comportements à leur égard. L'homme est inclus dans son environnement, les grandes entités paysagères liées aux dynamiques naturelles régissent le territoire et offrent des ressources inégales à compenser selon les localités.

a. Surfaces urbaines

Dans le cas des surfaces scellées, une transition progressive et massive vers des forêts est planifiée (20% en 2020, 40% en 2025 et 60% en 2030) permettant de passer d'une émission positive de 30.71 kT de CO₂ en 2019 à une captation de 31.56 kT de CO₂ en 2050. Création de forêts en ville. Les surfaces polluées vont être plantées avec des arbres à 100% à partir de 2030 permettant de passer d'une émission positive de 2.70 kT de CO₂ en 2020 à une captation de 1.85 kT de CO₂ en 2050. Les routes vont être déparçonnées progressivement à 60% en 2025 et 100% en 2030 ; une partie de ces linéaires sera plantée avec des arbres à 20% à partir de 2030 permettant de passer d'une émission positive de 25.63 kT de CO₂ en 2019 à une captation de 3.51 kT de CO₂ en 2050.

b. Surfaces agricoles

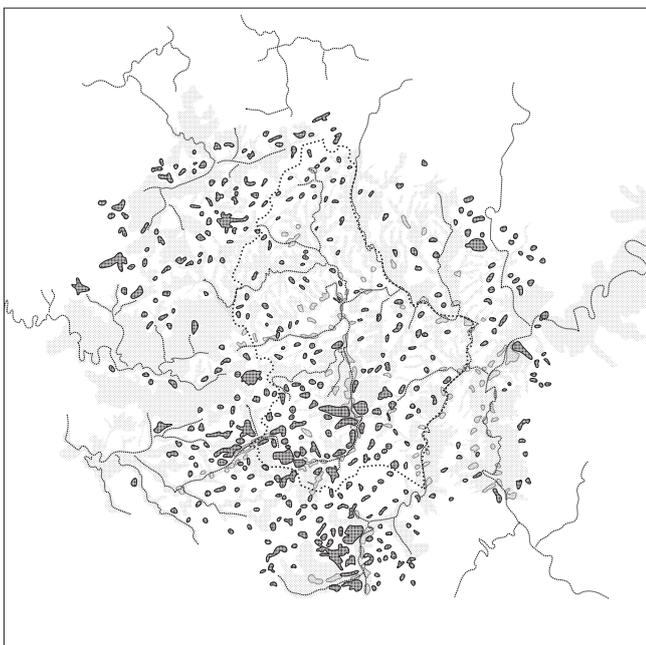
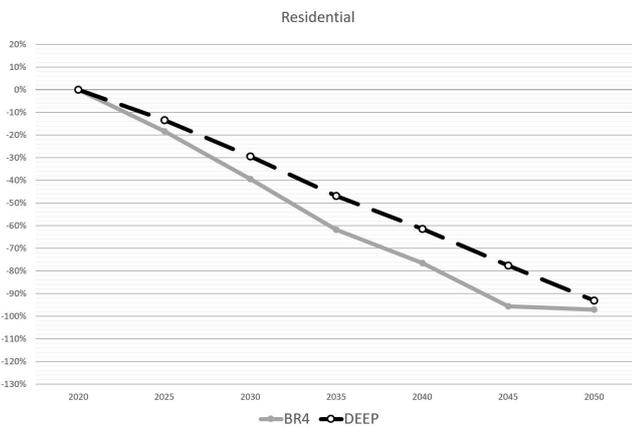
Dans le cas de l'agriculture, une transition progressive des terres arables vers une agriculture de conservation (100% en 2030) puis de l'agroforesterie/ forêt- jardin (100% en 2040) est planifiée avec un redécoupage parcellaire permettant de passer d'une émission positive de 307.58 kT de CO₂ en 2019 à une captation de 46.09 kT de CO₂ en 2050. Les cultures spéciales vont être converties en des cultures hybrides/polyculture à 100% en 2025 permettant de passer d'une émission positive de 22.42 kT de CO₂ en 2020 à une captation de 1.26 kT de CO₂ en 2050. Les prairies agricoles vont être progressivement plantées avec des arbres (transition vers de l'agroforesterie intensive) progressivement (60% en 2030, 80% en 2040 et 100% en 2050) permettant de passer d'une émission positive de 359.12 kT de CO₂ en 2019 à une captation de 136.98 kT de CO₂ en 2050. Systèmes agricoles variés en fonction des potentiels de chaque région.

c. surfaces boisées, forêts

Une transition progressive des zones boisées vers des forêts productives (dont le coefficient de captation est le même de l'agroforesterie) est planifiée, avec une progressive hausse des surfaces intéressées par ce changement : 10% en 2025, 20% en 2030 et 2035, 30% en 2040, 2045 et 2050. Cultures sous boisement avec développement de la faune



Extrait de l'Archive de l'Imaginaire, en construction



-  villes/villages et quartiers urbains, nouvelles micro centralités et densification fine des crêtes
-  villes/villages en fonds de vallée, adaptés à la «transparence hydraulique»
-  grandes figures territoriales

sauvage. Cette opération réduit légèrement les absorptions de -282.48 ktCO₂e en 2019 à -260.28 ktCO₂e en 2050.

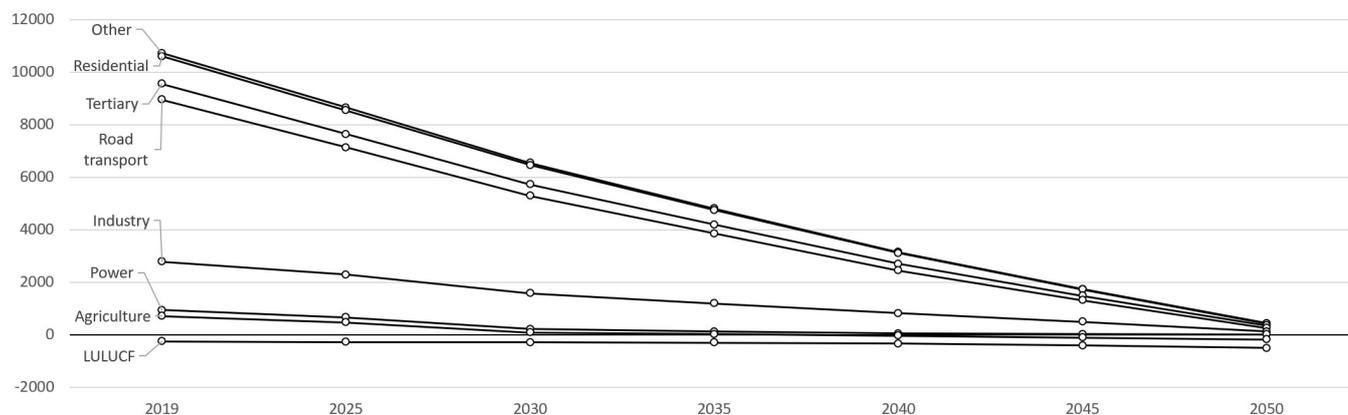
Globalement les absorptions dans le scénario Deep Ecology voient une forte augmentation de la capacité d'absorption des GES grâce à l'importante re-naturalisation des surfaces et la reconfiguration profonde de la structure agricole : on passe de +469 ktCO₂e en 2019 à -495 ktCO₂e en 2050. (Sources :Expertise équipe, EPFLausanne, ULiège)

Habiter : structure spatiale et établissement humain

Le modèle de la deep ecology est celui de la ville perméable et poreuse, qui ne constitue pas une barrière aux écosystèmes, mais au contraire interagit avec les autres espèces naturelles et propose de nouveaux espaces de coexistence entre l'homme et la nature. L'urbanisation est intégrée à l'environnement pour que chaque ménage puisse trouver son adéquation avec son milieu naturel. La structure des établissements humains au Luxembourg reprend les critères du passé, avec le positionnement sur les coteaux ou les crêtes (sur les continuités et points hauts). Cela signifie prendre en compte par exemple l'espace pour l'eau et les inondations en évitant de densifier les plaines et les fonds de vallées (le diagramme présenté reste pour le moment très simplifié). Le bâti existant en zone inondable sera adapté, dans le temps, à la « transparence hydraulique ».

La construction de nouveaux logements ne sera pas interdite, mais fortement limitée en considération de leur impact. Comme écrit plus haut, les études d'impact auront un niveau beaucoup plus élevé, et seront donc déterminantes. Dans ce cas, comme dans le précédent, la croissance démographique à l'horizon 2050 sera fortement diminuée. Mais l'accueil de populations (par exemple échappant aux territoires devenus inhabitables à cause du changement climatique) engendrera une demande d'habitations qui sera satisfaite à travers une réutilisation des sites artificialisés ou moins nuisibles pour les écosystèmes.

Deep Ecology, conclusions : la chronologie de la transition



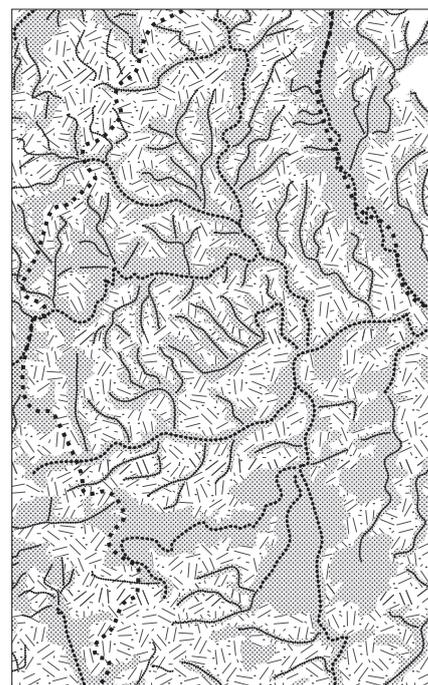
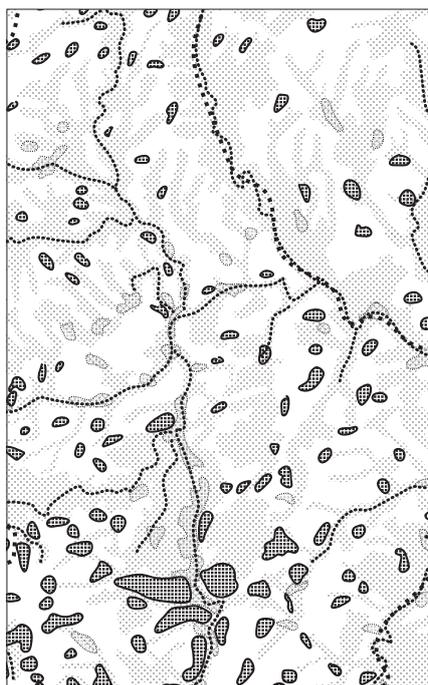
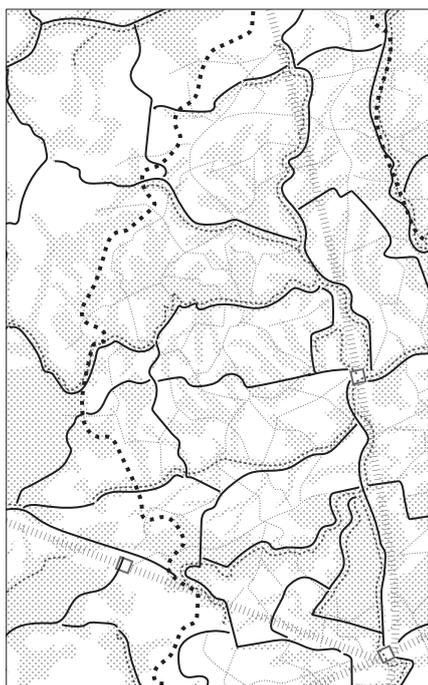
Pour la vision deep ecology, le rôle du public est crucial : la conscience de l'urgence de la transition pousse les autorités à implémenter des politiques univoques et strictes qui impactent sur le secteur privé et sur la vie des citoyens. Pour ce faire, le public a besoin de la collaboration de tous, mais doit surtout être capable de persuader les citoyens qu'un changement est possible et efficace sur le long terme comme sur le court terme.

Il s'agit d'un profond changement de valeurs aussi : pas seulement la valeur d'échange, qui perd son importance en faveur de la valeur d'usage, mais toute l'exploitation de

ressources est vue comme un prêt de la nature. Le type de gouvernance peut dépasser les frontières nationales héritées de l'histoire et dessiner des nouvelles unités.

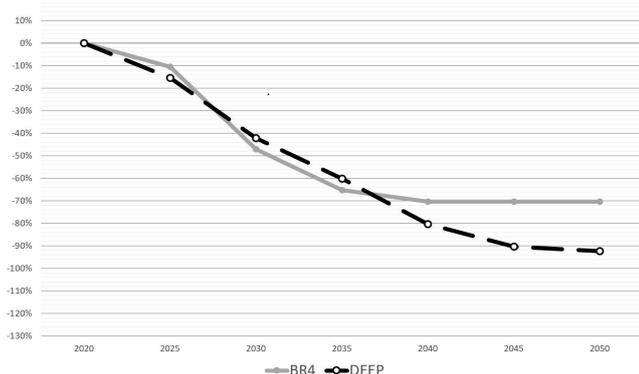
Finalement, le scénario lié à la vision deep ecology contient un élément fortement plausible car la réduction des émissions pourrait être un peu moindre, les absorptions augmentant de manière significative.

De nouveaux équilibres, dont les sols et leur couverture, les éléments géographiques sont les fondations peuvent être tissés à partir de la co-présence, qui prend à revers l'anthropocentrisme.



Note : Les projections de réduction, échelonnées dans le temps, sont calculées et/ou conjecturées à partir du pourcentage de potentiel de réduction (PEC), issu du calcul entre WAM et WEM décrit dans la méthodologie (BR 4 corrélié avec EEA).

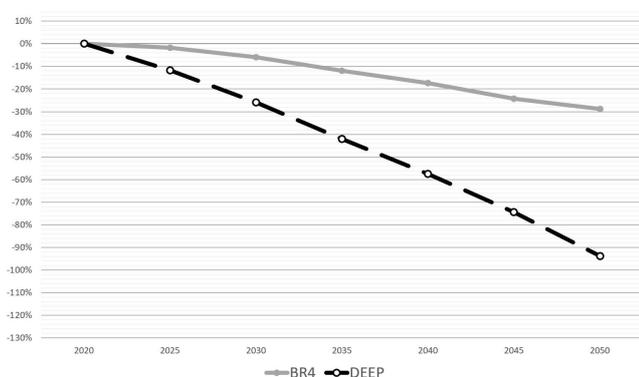
ENERGIE



Garantir le confort et la production sans nuire aux écosystèmes

- Réseau redondant, résilient face aux stress et adaptable
- Déconcentration dans les espaces les moins impactants
- Unités d'échelle de production à travers les écosystèmes transnationaux
- Gestion par la puissance publique et coopération transfrontalière
- Excédent de biomasse de l'entretien des paysages réutilisé
- Synchronisation entre disponibilité et utilisation de l'énergie
- Energies locales : eau cinétique, éolien mécanique, solaire thermique

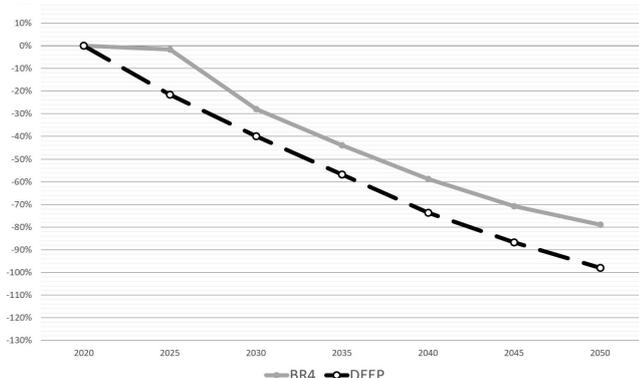
INDUSTRIE



Industrie quinquénaire (soin des paysages)

- L'industrie pour dés-anthropiser le territoire
- Niveau de technologie élevé en compétences, faible en énergie
- Extraction de ressources réduites (respect de la régénération)
- Gestion publique des équivalences de flux de ressources
- Sélection des usines qui ont un impact limité sur l'environnement
- Synergies entre les industries pilotées par le public
- CO2 em, pas de marché ETS, quotas respectés et compensés

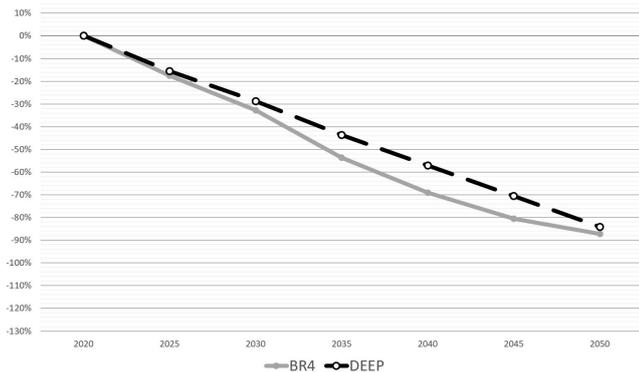
TRANSPORT



Autolimitation des transports et utilisation des modes actifs

- Structure horizontale et hiérarchie souple du territoire
- Intermodalité fondée sur l'utilisation des modes actifs
- Mobilité active dans les paysages et nouveau rapport à la vitesse
- Voiries principales les moins impactantes pour transport en commun
- Renaturalisation des infrastructures excédentaires
- Réduction voyages longue distance, allongement temps de parcours
- Logistique réduite en réseaux locaux, importations limitées

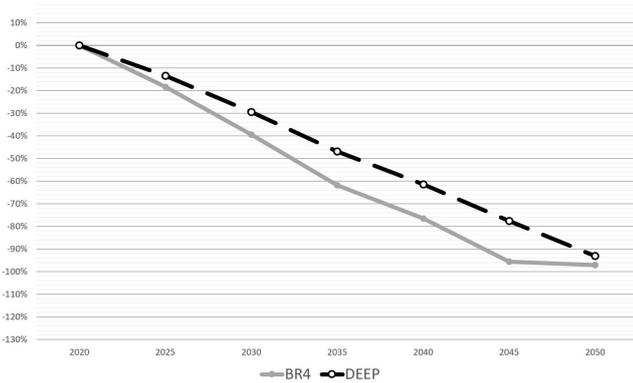
TERTIAIRE



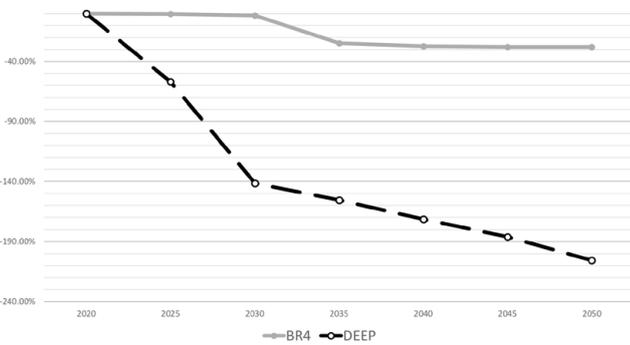
Réaliser la société du "care" pour l'environnement

- Expérience située et globale, lieu de vie régénéré par le travail
- Expérimentation et recherche-action sur et dans les territoires
- Décentralisation des équipements et réduction de leurs échelles
- Nouvelle cartographie et limite/frontière des territoires
- Services publics de fédération de moyens, de connaissances et outils
- Développement d'une pédagogie active liée à l'environnement
- Structures intergénérationnelles basées sur la prévention (santé)

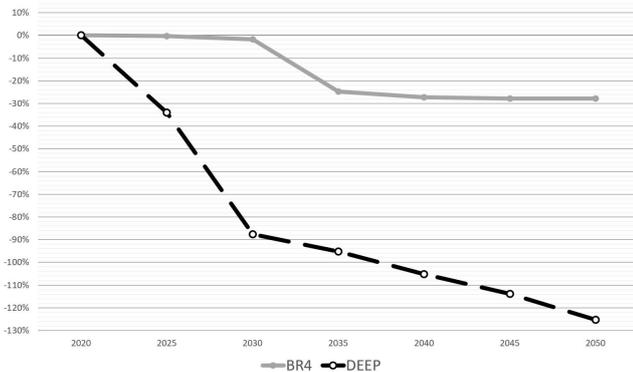
RESIDENTIEL



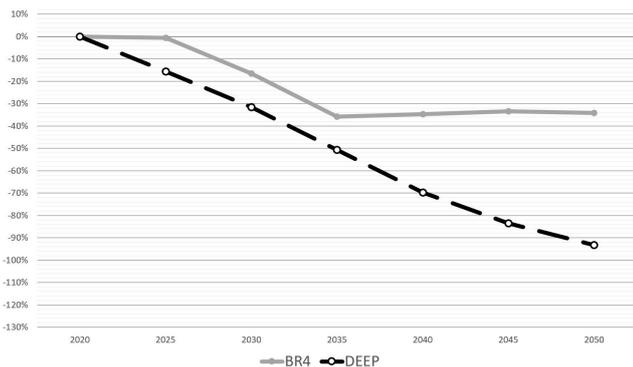
UTCATF (LULUCF) dont agriculture



AGRICULTURE



AUTRES



Une adaptation en respect de la "nature"

- Augmentation de population par l'accueil de "réfugiés climatiques"
- Densification fine des villes /villages sur les crêtes, ou sols artificiels
- Etudes d'impacts environnementaux renforcées
- Politique publique pour logements décents, abordables et économes
- "Transparence hydraulique" des villes et villages dans les vallées
- L'urbain comme espace mixte, de coexistence avec la "nature"
- Matériaux locaux non polluants provenant des écosystèmes

L'homme est inclus dans son environnement et le restaure

- Les entités paysagères définissent l'organisation du territoire
- Forte augmentation de la surface et de l'absorption des forêts
- Une ville poreuse, intensification des plantations, forêts urbaines
- Plantation d'alignements d'arbres le long des voies de circulation
- Restitution des extensions naturelles des cours d'eau
- Services écosystémiques suivant la logique de gestion et prélèvement
- Monitoring de la santé des écosystèmes

La permaculture comme "philosophie"

- Les espaces agricoles fonctionnent en système de jardins productifs
- Échelle adaptative en fonction de la capacité des écosystèmes
- Transition des cultures spéciales vers la polyculture
- Remembrement et boisement des parcelles
- Pas de marché, un échange sans conséquence sur les écosystèmes
- Régime alimentaire végétarien, protéines végétales
- Respect et adéquation aux rythmes naturels (cycles, saisons, ...)

Cycles naturels des déchets + cycles naturels de l'eau

- Généralisation du compostage des déchets végétaux
- Réduction de la production d'autres déchets (taxes, consignes, ...)
- Eau potable, pompage de la nappe minimal
- Utilisation directe de l'eau de pluie (moins polluée qu'auparavant)
- Eaux usées minimisées et traitées naturellement et localement
- Transformation de certains paysages par le lagunage qui filtre l'eau

IV

CONCLUSIONS

Dans le long terme : les trois visions arrivent à zéro émissions directes à l'horizon 2050 (sauf le C2C qui reste légèrement supérieur car, entre autres, les émissions du secteur industrie ne diminuent pas assez rapidement), avec des choix contrastés. Dans la Deep Ecology, les UTCATF (LULUCF), dont l'agriculture, arrivent à absorber légèrement plus que dans les autres visions, ce qui permet des compensations avec les autres secteurs.

Dans le court terme : le 11 décembre 2020, l'UE des 27 s'est accordée sur l'objectif de diminution des émissions d'ici 2030 (-55% par rapport à 1990). Cet accord ne répond pas à la demande des scientifiques qui sollicitent la diminution des émissions à -55% d'ici 2030, par rapport à 2018 et non à 1990 (Le Monde). Si l'on considère cette accélération prioritaire, alors les trois visions peuvent être interrogées aussi à partir de l'horizon du court terme. Dans ce cas, le scénario associé à la vision Degrowth est le seul qui satisfait la demande (-57% à l'horizon 2030 par rapport à 2019). Suivant ce que nous avons rappelé en introduction de la vision, il s'agirait d'un choc socio-économique majeur, bien au-delà de celui de la Covid 19. La Deep Ecology est autour de -41% par rapport à 2019, en raison des efforts sur la restauration des écosystèmes et de la descente moins rapide des consommations liées au transport, au bâti, à l'industrie et au tertiaire avec leur nécessité d'énergie. Le C2C reste à -25% des émissions par rapport à 2019.

Dans les autres secteurs : comprenant les émissions liées au traitement des déchets et des eaux suit une allure similaire à celle de l'agriculture et se stabilise après 2030 en raison de l'incertitude de ce qui pourrait arriver dans 10 ans (BR4). Enfin, pour ce qui concerne l'aviation, les trois visions s'appuient sur la rediscussion radicale du transport aérien engendrée par le changement climatique et la crise Covid pour en imaginer une diminution importante.

Le C2C trace une ligne similaire jusqu'à 2030 mais après se détache fortement grâce à la fermeture complète des flux de matière au sein de l'industrie et à l'annulation presque totale des flux vers les décharges. Un système d'épuration des eaux centralisé permettra de minimiser les émissions.

Dans la vision DEG, la réduction des émissions commence immédiatement et est liée principalement à la forte réduction des consommations. Le système de gestion de l'eau sera fortement décentralisé et sera géré par la communauté.

Dans le DEEP, la plupart des déchets auront une origine végétale et seront donc entièrement biodégradables. Bien que cela n'annule pas complètement les émissions, il sera possible d'établir des nouvelles synergies avec les écosystèmes, où les déchets de l'activité humaine deviendront ressource pour d'autres espèces. Le système de gestion de l'eau exploitera les ressources locales comme les rivières et la pluie pour arriver à une saisonnalité de la vie.

Decoupling

Les trois matrices/courbes représentent des scénarios cohérents, induits par des visions du monde qui achèvent la transition de manières différentes. En tant que visions de futurs possibles, aucune d'entre elle ne peut exclure l'autre. Au contraire, elles collaborent à nourrir la discussion autour du type de projet de la transition et de société que nous souhaitons vivre et partager. Le chemin vers la transition ne se fait pas d'une façon univoque mais, si l'on accepte le débat ouvert comme richesse inéludable de la démocratie, différents chemins sont à poursuivre, des alliances et synergies restent à imaginer. Les trois courbes des visions du monde montrent la gravité de la situation et les difficultés qui restent à franchir. Dans leur ensemble elles nous invitent à garder l'esprit bien ouvert, car le moment est celui du changement de paradigme.

Le basculement important proposé dans cette première phase concerne, en effet, la notion de croissance économique qui, suivant les trois visions, perd sa centralité. Elle reste dans le premier cas, mais elle disparaît dans le deuxième et dans le troisième, sans pour autant imaginer un futur de privations et qui exclurait le bien-être collectif et individuel. Ces deux lignes de réflexion (croissance/non croissance) ouvrent à une vaste littérature qui concerne le decoupling :

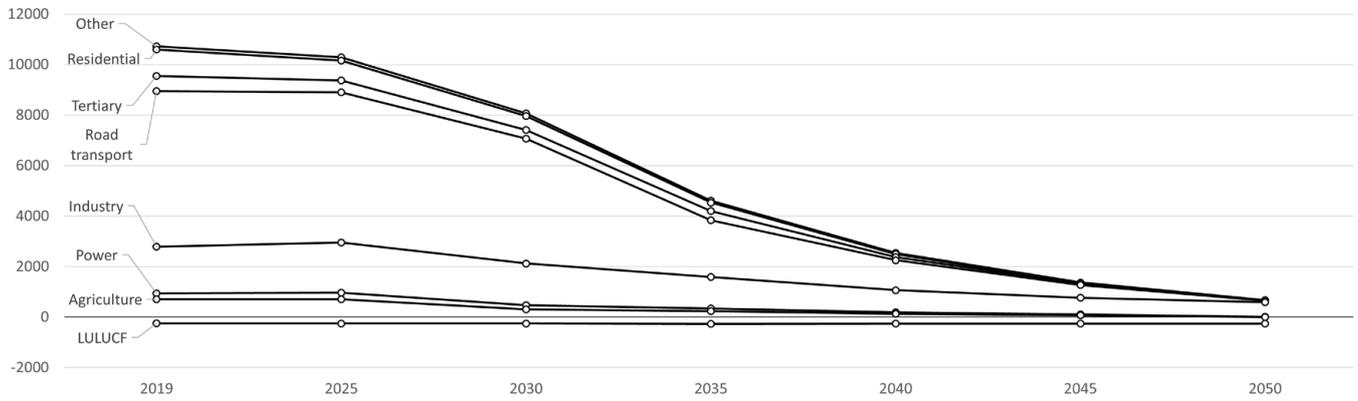
1. le découplage de la croissance économique de la consommation de ressources et de l'impact environnemental (économie circulaire et substitution des technologies fossiles - brown technologies - avec, en même temps, un effet de mitigation du changement climatique). Dans ce cas, l'élément clef est l'intégration des stratégies sur la protection des ressources et celles du climat ;
2. le découplage de la croissance économique de celle du bonheur, individuel et collectif.

Stratégies, actions, politiques du futur ne sont donc pas seulement à imaginer liées à l'efficacité, mais aussi à l'idée de sufficiency (suffisance/sobriété) et consistency. En particulier l'idée de suffisance/sobriété est à prendre en compte en raison du découplage, désormais prouvé par de nombreuses recherches sur la relation entre croissance économique et croissance du bonheur (Richard A. Easterling et le happiness-income paradox). L'expérience empirique dans les pays développés ou en transition montre qu'après

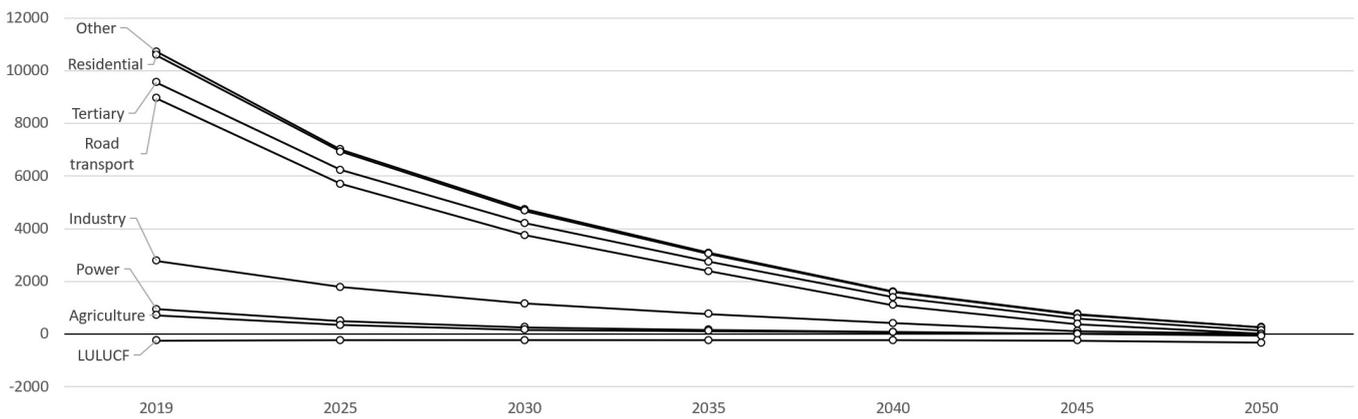
un certain seuil, la croissance du PIB (Produit Intérieur Brut) se déconnecte des indicateurs de la qualité de vie (voir aussi, à ce propos, les recherches de Laura Nader à la fin des années 70 sur la croissance des consommations d'énergie découplées de celle du bien-être et de la qualité de vie) ; la question de nouveaux indicateurs est en effet posée par beaucoup d'économistes.

Ce que nous intéresse ici, c'est que la situation entraîne un dialogue sociétal qui investit le territoire luxembourgeois ainsi que sa région fonctionnelle, et que ce dialogue se construise avec un territoire-sujet, avec les positions qui seront prises et les choix qui seront décidés. La liste aride des actions prend un sens différent quand c'est dans le territoire que nous les lisons. C'est ce débat que les trois visions du monde cherchent à susciter et à structurer à partir de l'espace concret du Luxembourg, Europe, Terre.

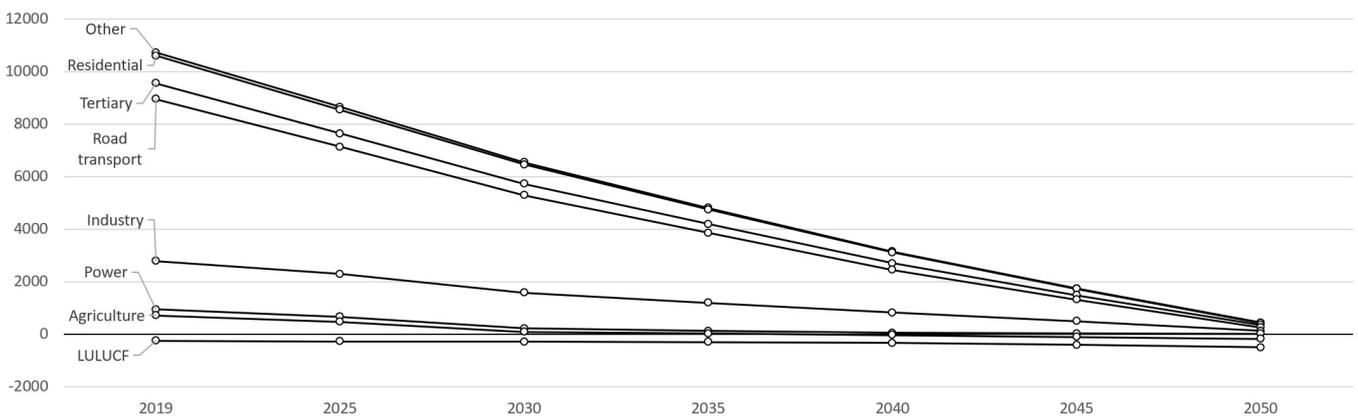
Cradle-to-Cradle



De-Growth



Deep Ecology



Croissance, consommation, bonheur: decoupling

Les émissions externalisées (ou encore indirectes) : les actions qu'entreprend le Grand-Duché de Luxembourg, en accord avec ses partenaires de la Région fonctionnelle, ont un impact non seulement sur les émissions de CO₂ du pays, mais également sur son empreinte globale, à l'échelle mondiale. Prendre en compte ces émissions dites externalisées est d'autant plus important dans le cas de la présente étude, tant l'empreinte – et donc le pouvoir d'action – de chaque habitant de la région fonctionnelle luxembourgeoise est conséquente. En effet, si 17 tonnes équivalent CO₂ sont consommées en moyenne chaque année par un habitant de la région fonctionnelle, ce sont 44 tonnes qui sont émises dans l'atmosphère à l'échelle planétaire, soit 27 tonnes équivalent CO₂ par habitant. Ainsi, n'extrayant que peu de ressources brutes sur son territoire, ne considérer uniquement les émissions de CO₂ au niveau national donnerait une image partielle et biaisée de la situation.

La distribution sectorielle de ces indicateurs révèle notamment la place prépondérante des domaines de la production d'énergie, de l'industrie et de l'alimentation dans l'équation globale, et leur forte sous-représentation dans le total territorial. Afin de tracer l'allure des courbes de consommations externalisées, il s'agit de distinguer plusieurs catégories d'actions :

- les actions nécessitant la fabrication de produits à l'étranger, qui induisent un mouvement contraire entre la courbe territoriale et la courbe globale ;

- les actions visant une augmentation de l'autonomie (énergétique, alimentaire), qui entraînent une diminution parallèle de la consommation externe ;

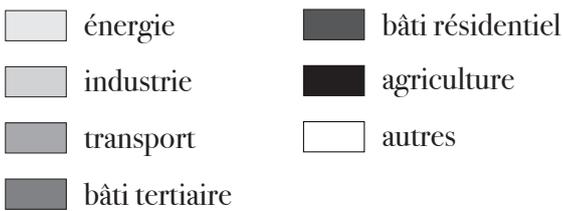
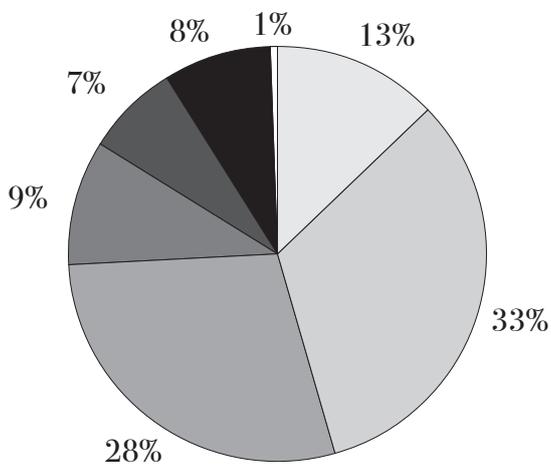
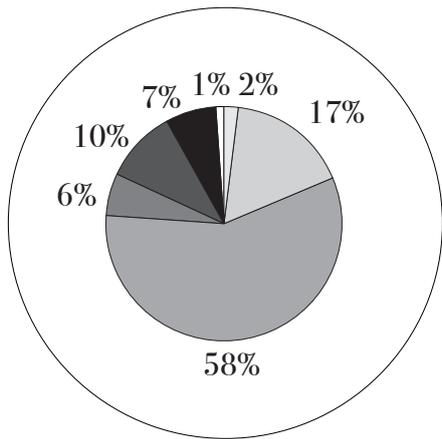
- les actions reposant sur l'encouragement d'un comportement frugal, qui résultent en une diminution plus marquée.

Finalement, le solde de ces mouvements concerne la part de consommation externalisée dont la diminution n'est pas du ressort du Luxembourg (l'amélioration de l'efficacité énergétique d'usines, par exemple). Les courbes résultantes ci-contre ne tiennent pas en compte les éventuels efforts consentis dans d'autres territoires. Une augmentation de la courbe externe ne signifie donc pas automatiquement que les émissions s'intensifient, mais plutôt que les actions du

Luxembourg résultent en une augmentation de la pression environnementale sur d'autres régions moins privilégiées.

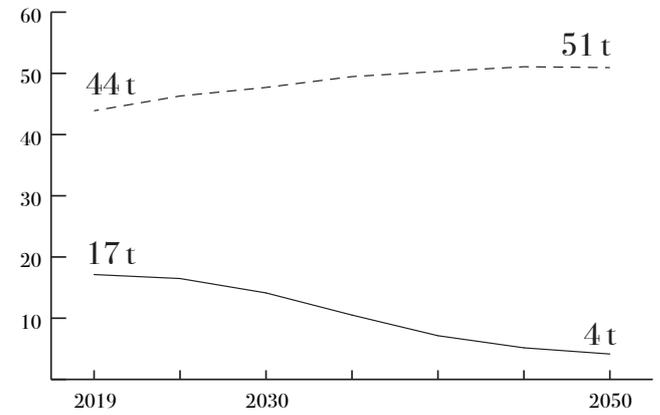
Cette pression se manifeste particulièrement dans la vision C2C. En effet, la production massive de nouvelles technologies – pour la plupart à l'étranger – en conjonction avec l'effet de latence entre l'implémentation des mesures et leurs effets escomptés résulte en une courbe à l'allure inverse mais décalée dans le temps de la courbe territoriale. Dans la vision DEG, par contre, l'abondance de stratégies de diminution de la consommation et de recentrement sur une échelle locale endigue les potentielles émissions externalisées de manière proportionnelle. Dans le cas présent, la vision DEEP peut constituer un scénario intermédiaire, où les stratégies initiales ne nécessitent que peu d'émissions à l'étranger. Une plus grande autonomie est visée, sans toutefois couper les ponts avec les autres régions du globe. Il en résulte une courbe à l'allure hybride, dont la diminution se fait plus marquée après 2030.

L'esquisse des courbes de consommation de CO₂ externalisées permet non seulement d'apprécier les conséquences globales de la transition au Luxembourg et dans sa région fonctionnelle, mais aussi d'envisager – particulièrement dans le premier scénario – une série de coopérations internationales visant à mitiger l'empreinte du plus grand consommateur mondial par habitant.

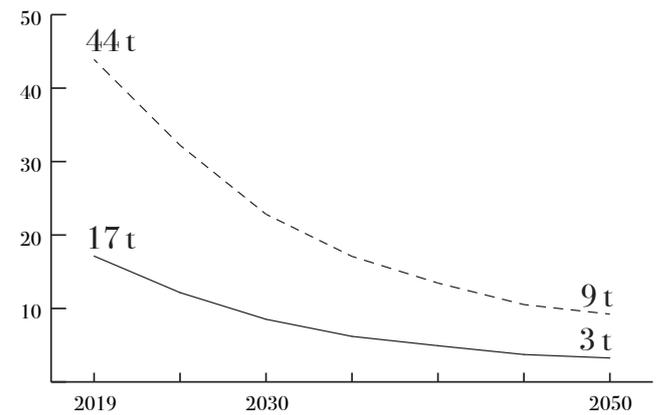


Empreintes territoriale et globale par secteur, en t équ.CO2/hab.

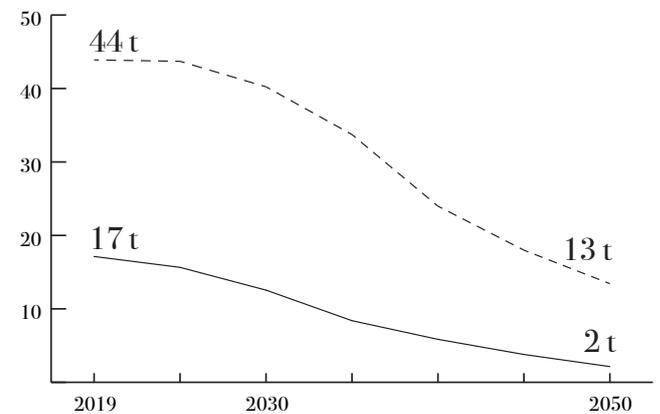
Sources : BR4, SCP Hotspot Analysis Tool



Scénario Cradle-to-Cradle



Scénario Degrowth



Scénario Deep Ecology

Sources : SCP Hotspot Analysis Tool, propres calculs

Sources

1. IEA, 2020. *Luxembourg 2020 Energy Policy Review*. Paris: International Energy Agency.
2. FAO, 2012. *FAO Statistical Pocketbook*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
3. Perspective Monde, 2021. *Perspective Monde*. Québec : Université de Sherbrooke. <https://perspective.usherbrooke.ca/>
4. CEPS/INSTEAD, 2012. *La mobilité des frontaliers du Luxembourg : dynamiques et perspectives*. Esch-sur-Alzette.
5. CRTE, 2010. *The Ecological Footprint of Luxembourg*. Esch-sur-Alzette: Research Centre for Environmental Technologies.
6. Perspective Monde, 2021. op. cit.
- 7- 8. IEA, 2020. op. cit.
9. Estimation basée sur un véhicule consommant 20KWh/100km (2000KWh/an) et un ménage moyen luxembourgeois consommant 4000KWh/an
10. Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable, 2018. *Plan national intégré en matière d'énergie et de climat du Luxembourg pour la période 2021-2030*. Luxembourg.
11. Géoportail.lu – Le géoportail national du Grand-Duché du Luxembourg. Administration du Cadastre et de la Topographie. <https://www.geoportail.lu>
12. Service d'économie rurale, 2016. *L'agriculture luxembourgeoise en chiffres*. Luxembourg.
13. Ministère de l'Agriculture, de la Viticulture et de la Protection des consommateurs, 2018. *Communiqué : Image de l'agriculture auprès de la population résidente*. Luxembourg. https://gouvernement.lu/fr/actualites/agenda.gouvernement%2Bfr%2Bactualites%2Btoutes_actualites%2Bcommuniques%2B2018%2B06-juin%2B21-agriculture-sondage-image.html
14. FAO, 2012. op. cit.
15. FAO, 2011. *The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture (SOLAW): Managing Systems at Risk*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, London: Earthscan.
16. SATEC, 2020a. *Le Luxembourg en chiffres*. Luxembourg: Institut national de la statistique et des études économiques.
17. SATEC, 2017a. *Projections macroéconomiques et démographiques de long terme : 2017-2060*. Luxembourg: Institut national de la statistique et des études économiques.
18. STATEC, LISER, 2019. *Le logement en chiffres*. Luxembourg: Institut national de la statistique et des études économiques, Luxembourg Institute of Socio-Economic Research.
19. The World Bank, 2017. Gini Index. Washington, D.C.: The World Bank Group. <https://data.worldbank.org/indicator/SI.POV.GINI>
20. SATEC, 2020b. Regards 05/2020: *Le Luxembourg, terre d'immigration*. Luxembourg: Institut national de la statistique et des études économiques.
21. STATEC, 2020a. op. cit.
22. SATEC, 2017b. *Indice socio-économique par commune*. Luxembourg: Institut national de la statistique et des études économiques.
23. LISER, 2019. *L'observatoire de l'habitat, note 22 : Le potentiel foncier destiné à l'habitat au Luxembourg en 2016*. Luxembourg: Luxembourg Institute of Socio-Economic Research.
24. Administration de la gestion de l'eau, 2018. *Zones de protection d'eau destinée à la consommation humaine autour des captages d'eau souterraine*. Luxembourg.
25. Administration de la gestion de l'eau, 2015. *Plan de gestion pour les parties des districts hydrographiques internationaux Rhin et Meuse situées sur territoire luxembourgeois (2015-2021)*. Luxembourg.
26. Administration de la gestion de l'eau, 2020. *Etat des lieux de l'eau potable*. Luxembourg. <https://environnement.public.lu/fr/waasser/eau-potable.html>
27. Administration de la gestion de l'eau, 2015. *Plan de gestion pour les parties des districts hydrographiques internationaux Rhin et Meuse situées sur territoire luxembourgeois (2015-2021)*. Luxembourg.

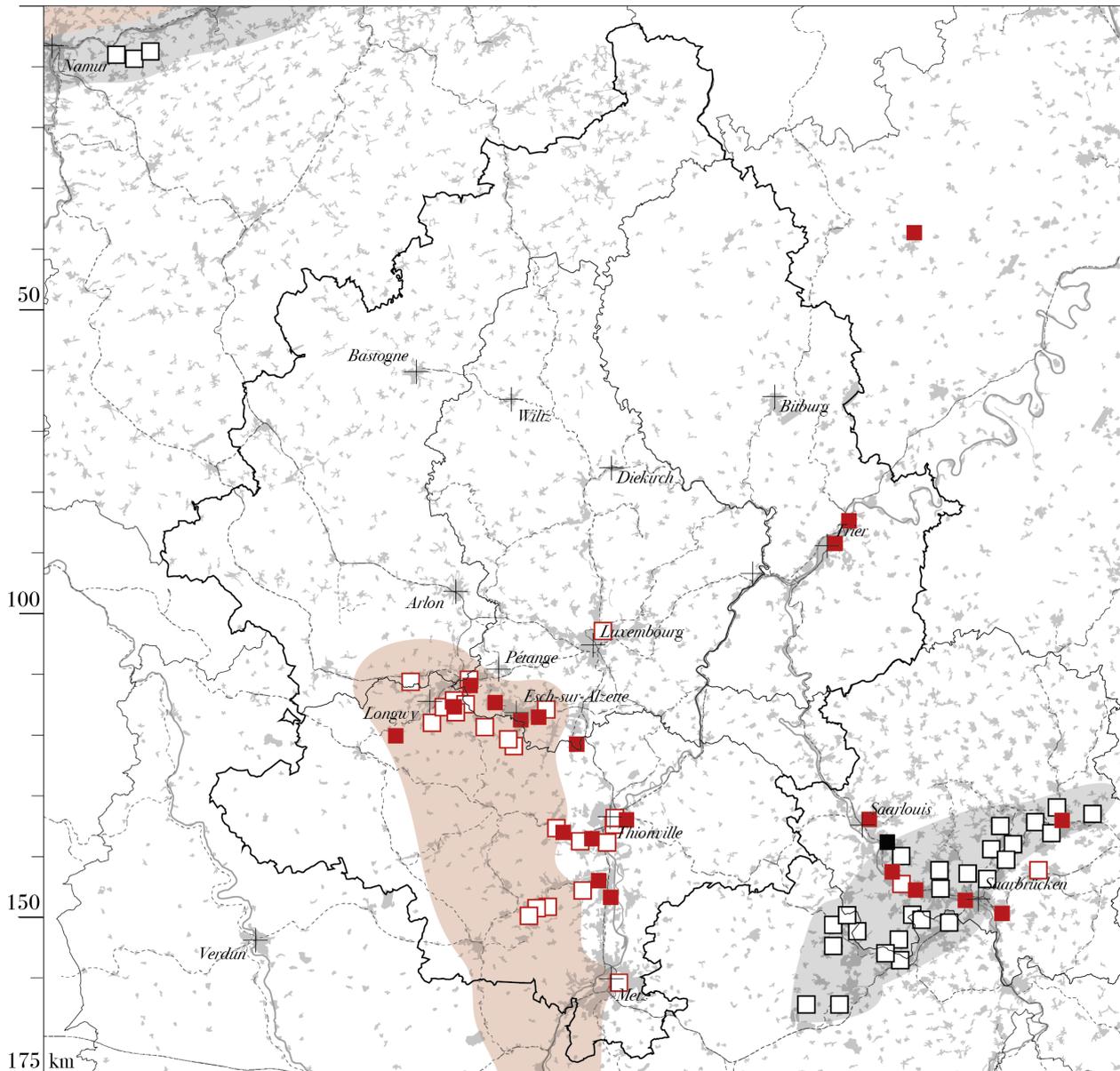
Références

- Bastin JF, Finegold Y, Garcia C, Mollicone D, Rezende M, Routh D, Zohner C M, Crowther T W (2020) The Global Tree Restoration Potential. *Restoration Ecology* CES - conseil économique et social (2020). LE TÉLÉTRAVAIL AU LUXEMBOURG <https://ces.public.lu/dam-assets/fr/avis/themes-europeens/2020-teletravail.pdf>
- Deluz C, Nussbaum M, Sauzet O, Gondret K and Boivin P (2020) Evaluation of the Potential for Soil Organic Carbon Content Monitoring With Farmers. *Front. Environ. Sci.* 8:113. doi: 10.3389/fenvs.2020.00113
- EFESE - évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques (2019) La séquestration de carbone par les écosystèmes en France
- European Commission (2020). The European Green Deal.
- Garric, Audrey (13 - 14 Décembre 2020), Le monde, climat : la bataille contre le réchauffement se relance.
- Latouche, Serge (2007). *Petit traité de la décroissance sereine*. Paris : Mille et Une Nuits
- Leopold, Aldo (1966), [1949]. *A Sand County Almanac*. New York: Oxford University Press.
- Loorbach et al. (2017), *Sustainability Transitions Research: Transforming Science and Practice for Societal Change*, Dutch Research Institute for Transitions, Erasmus University Rotterdam.
- McDonough, William, Braungart, Michael (2002). *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*. New York : North Point Press
- Mazzucato, Mariana, et al. (2018). *Mission-Oriented Research & Innovation in the European Union: A Problem-Solving Approach to Fuel Innovation-Led Growth*. Publications Office of the European Union
- Naess, Arne (1989). *Ecology, Community and Lifestyle*. Cambridge: Cambridge University Press
- Nader L., 1980 "Introduction" in *Energy Choices in a Democratic Society*, Supporting Paper 7, Study of Nuclear and Alternative Energy Systems, National Academy of Sciences, Washington, D.C.
- Polanyi, Michael (1983). *The tacit dimension*. Gloucester, Mass :Peter Smith
- Rabhi, Pierre (2010). *Vers la sobriété heureuse*. Arles : Actes Sud
-
- <https://delano.lu/d/detail/news/lockdown-does-not-disrupt-home-electricity-demand/210421>
- https://gouvernement.lu/fr/actualites/toutes_actualites/communiqués/2020/05-mai/11-peak-ener-gie-solaire.html
- <https://www.wort.lu/fr/luxembourg/tout-tout-tout-sur-la-taxe-co2-5fc3e08ade135b9236aa3e0a>

Une vision pour le Luxembourg - Europe, Terre

atlas
de la transition

Première révolution économique du Luxembourg : industrie



La première révolution économique du Luxembourg s'est concentrée autour des bassins ferrifères du Minett, s'accompagnant d'un important exode rural

du nord vers le sud du pays. Même à l'échelle de la Grande Région, ces zones d'extraction caractérisent encore fortement la manière d'habiter le territoire.

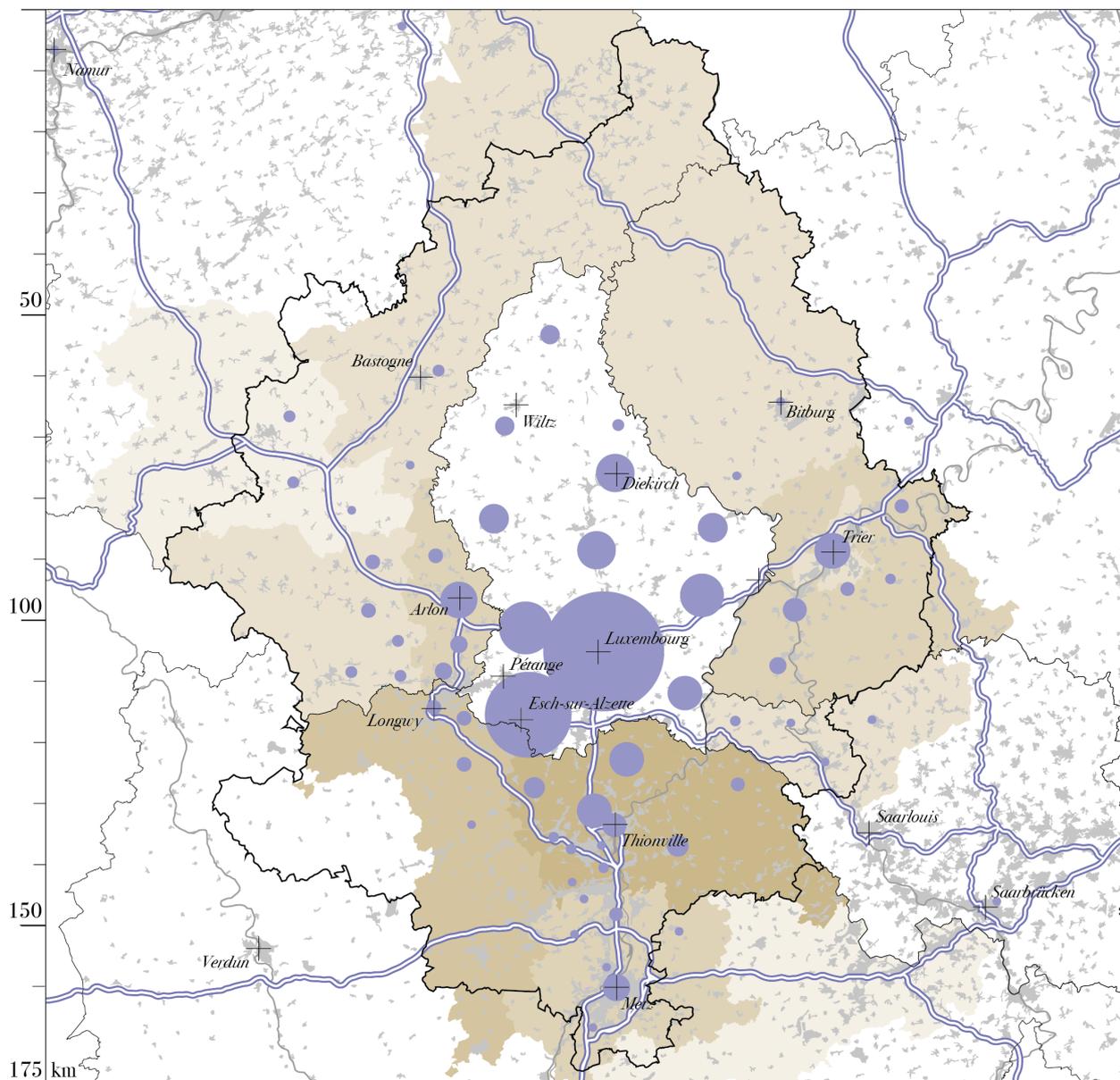
----- Chemin de fer passé et présent

- Site industriel du fer et de l'acier en 2007
- Site industriel du fer et de l'acier en 1965
- Charbonnage en 2012
- Charbonnage en 1969

■ Bassin ferrifère
■ Bassin charbonifère

Sources : SIG-GR, GR Atlas, OpenStreetMap

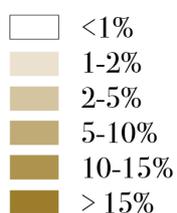
Deuxième révolution économique du Luxembourg : finance



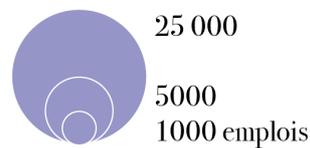
L'essor fulgurant du secteur financier au Grand Duché s'accompagne d'une forte polarisation entre Luxembourg-Ville et les régions dépendantes

alentour. Supporté par le réseau autoroutier, un flux et reflux automobile constant s'opère entre Ville et villages dispersés.

Part des travailleurs frontaliers, 2016

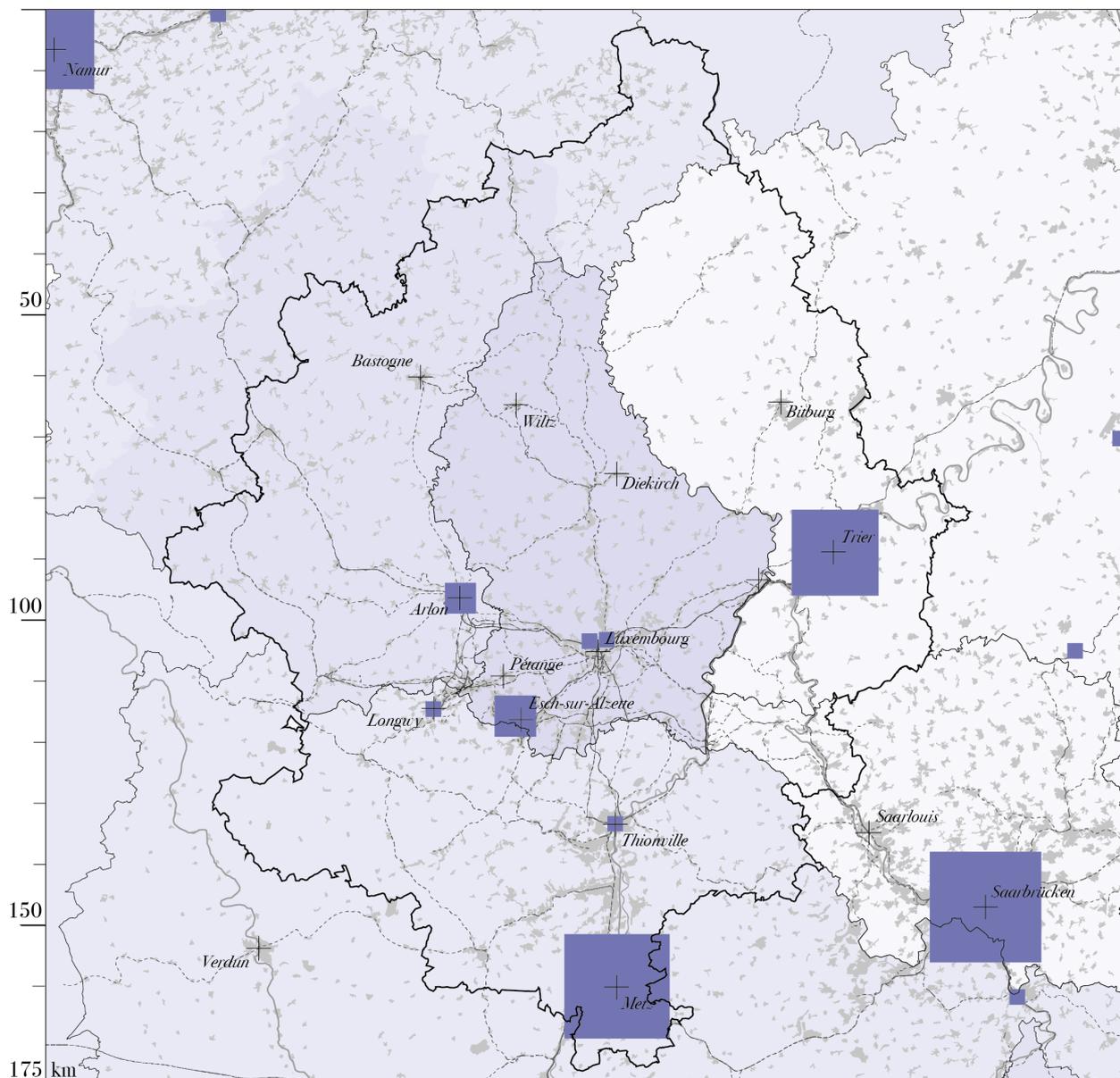


Nombre d'employés dans le secteur des Knowledge Intensive Activities, 2008



Sources : SIG-GR, Sohn 2012, OpenStreetMap

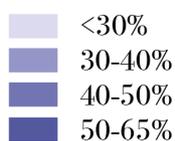
Troisième révolution économique du Luxembourg : connaissance



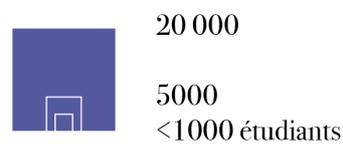
Avec la création du réseau des universités de la Grande Région, l'université du Luxembourg intègre une constellation internationale de lieux de savoir au

profils variés. Nouvellement consolidée sur son campus de Belleval, elle s'insère dans une volonté de décentralisation et de diversification.

Part de la population ayant achevé une éducation tertiaire

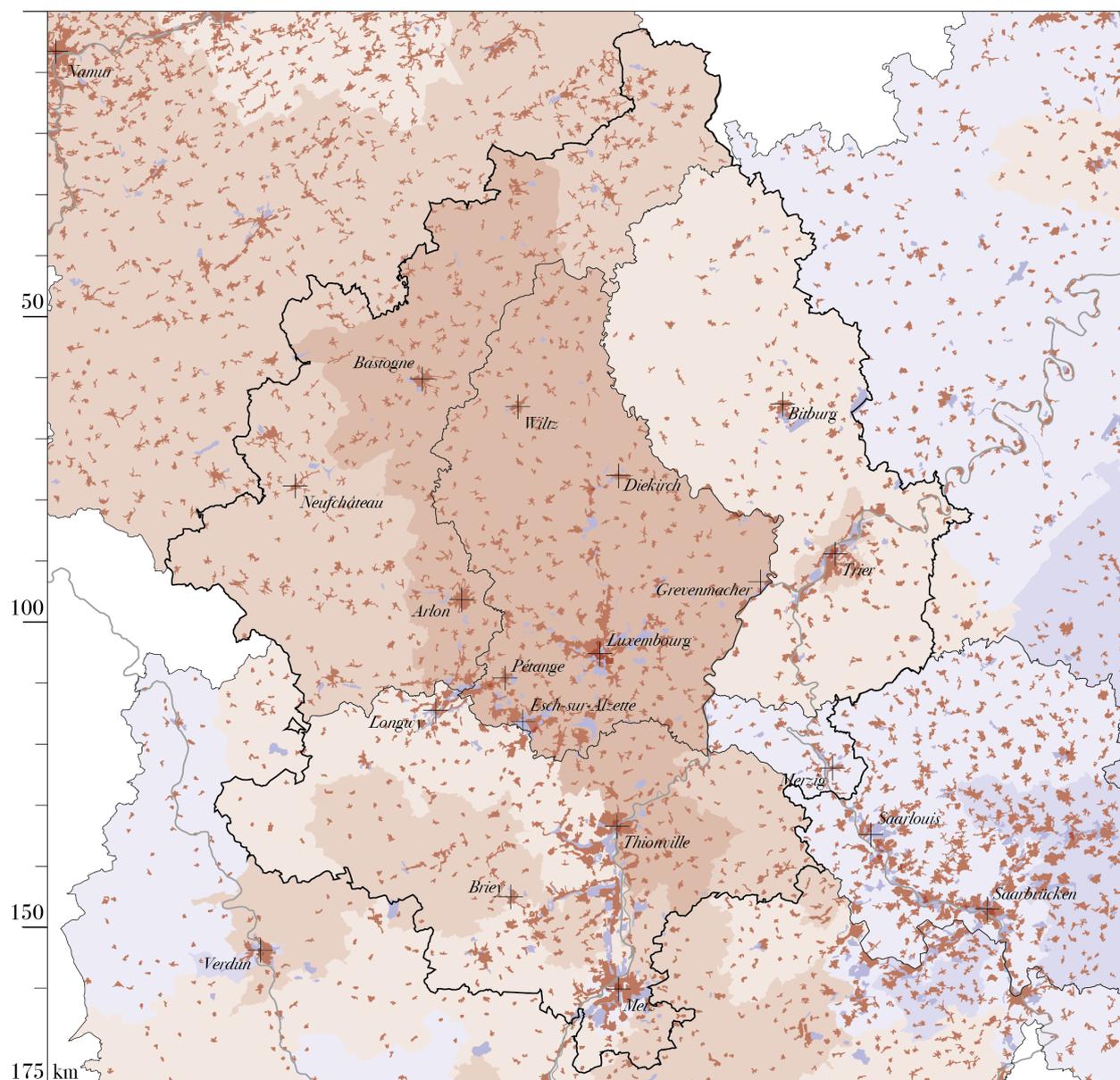


Nombre d'étudiants dans l'enseignement supérieur



Sources : SIG-GR, Uni-GR, OpenStreetMap

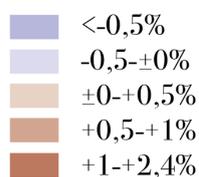
Évolution démographique



Au centre de sa région fonctionnelle, le Grand-Duché et ses régions limitrophes absorbent la croissance démographique due à l'immigration d'une population

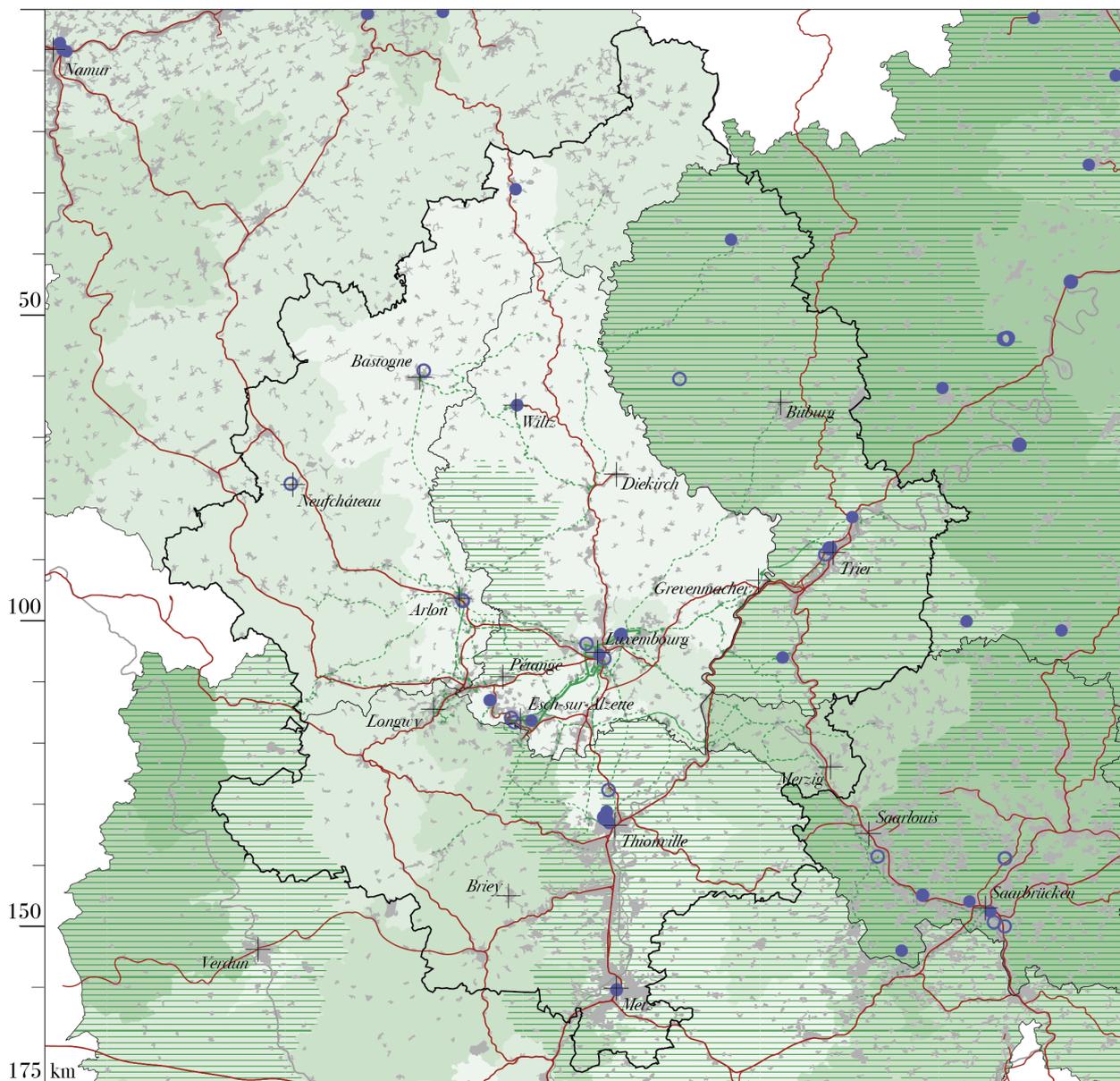
majoritairement jeune. À l'inverse, la Saar post-industrielle, la Lorraine et l'Eifel rurales sont en déclin.

Évolution démographique, 2000-2016



Sources : SIG-GR

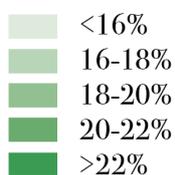
Vieillesse et santé



Miroir de la carte précédente, la planche ci-dessous illustre que ces mêmes zones dépourvues d'immigration jeune accueillent une population plus

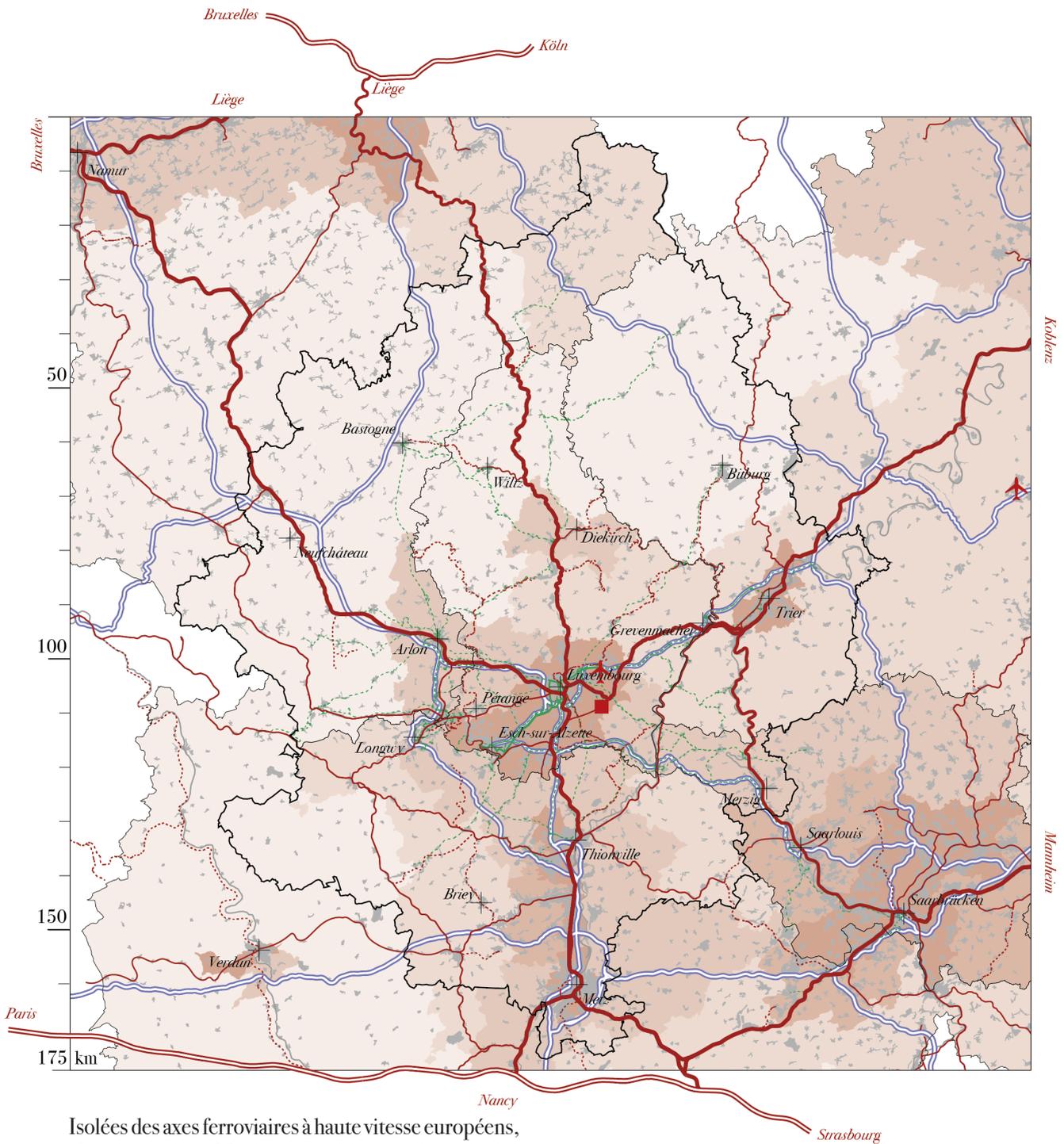
agée, et sont pour la plupart dépourvues d'une infrastructure de soins suffisante, à l'écart des axes de transport majeurs.

Part d'habitants de plus de 65 ans



Sources : SIG-GR, OpenStreetMap

Mobilité



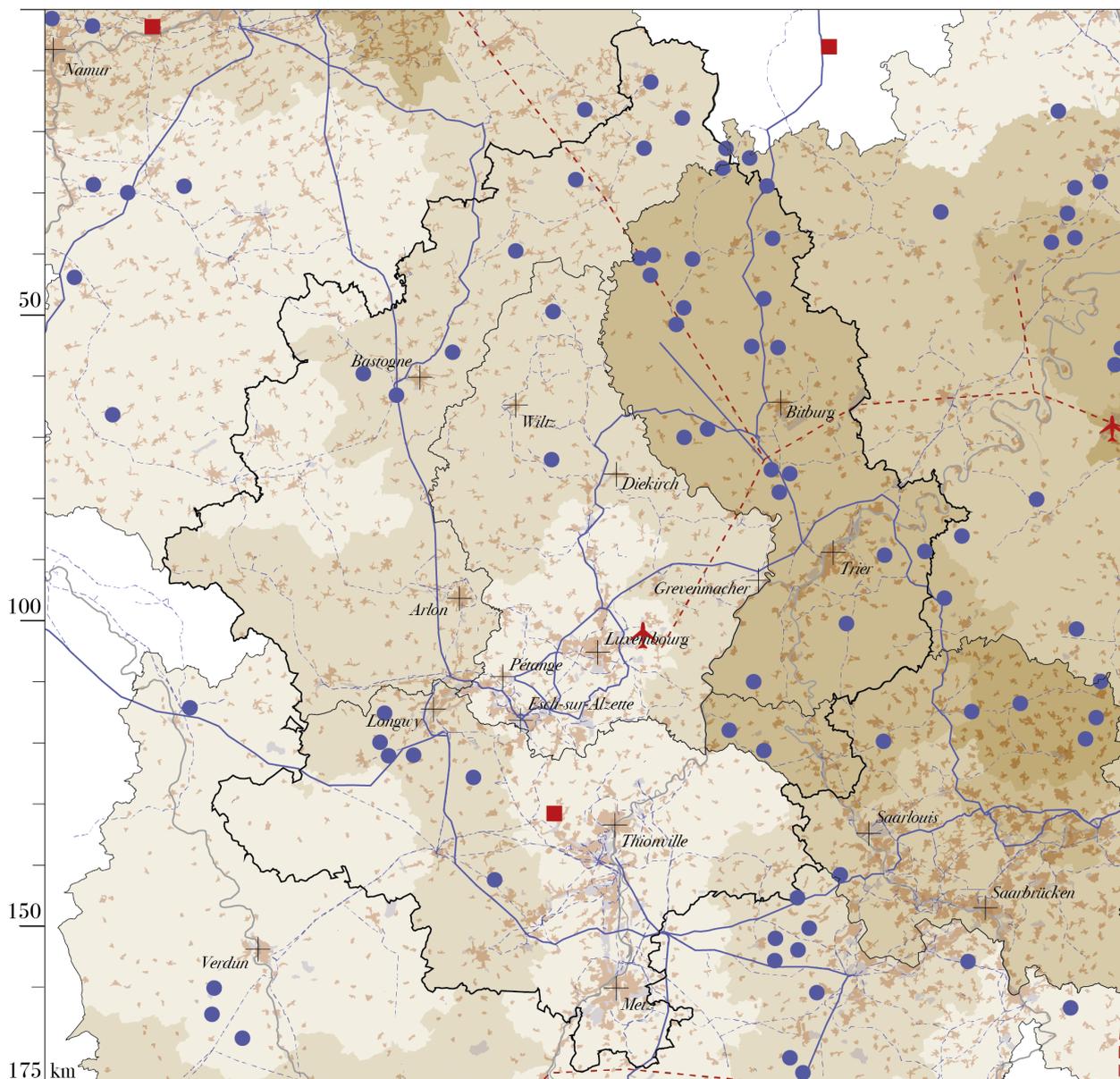
Isolées des axes ferroviaires à haute vitesse européens, c'est le long de la Moselle et en direction de Bruxelles que se trouvent les principales liaisons internationales de la région.

-  Aéroport
-  Pôle logistique ferroviaire
-  Rail – ligne à haute vitesse
-  Rail – ligne principale
-  Rail – ligne secondaire
-  Rail – ligne abandonnée

-  Tramway existant ou projeté
-  Bus transfrontalier
-  Autoroute
-  Cours d'eau navigable

Sources : SIG-GR, OpenStreetMap

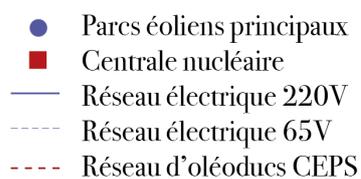
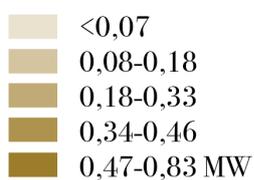
Énergie



Malgré la récente intensification – surtout en Allemagne et dans les Ardennes – de la production d'énergie éolienne au sein de la région fonctionnelle,

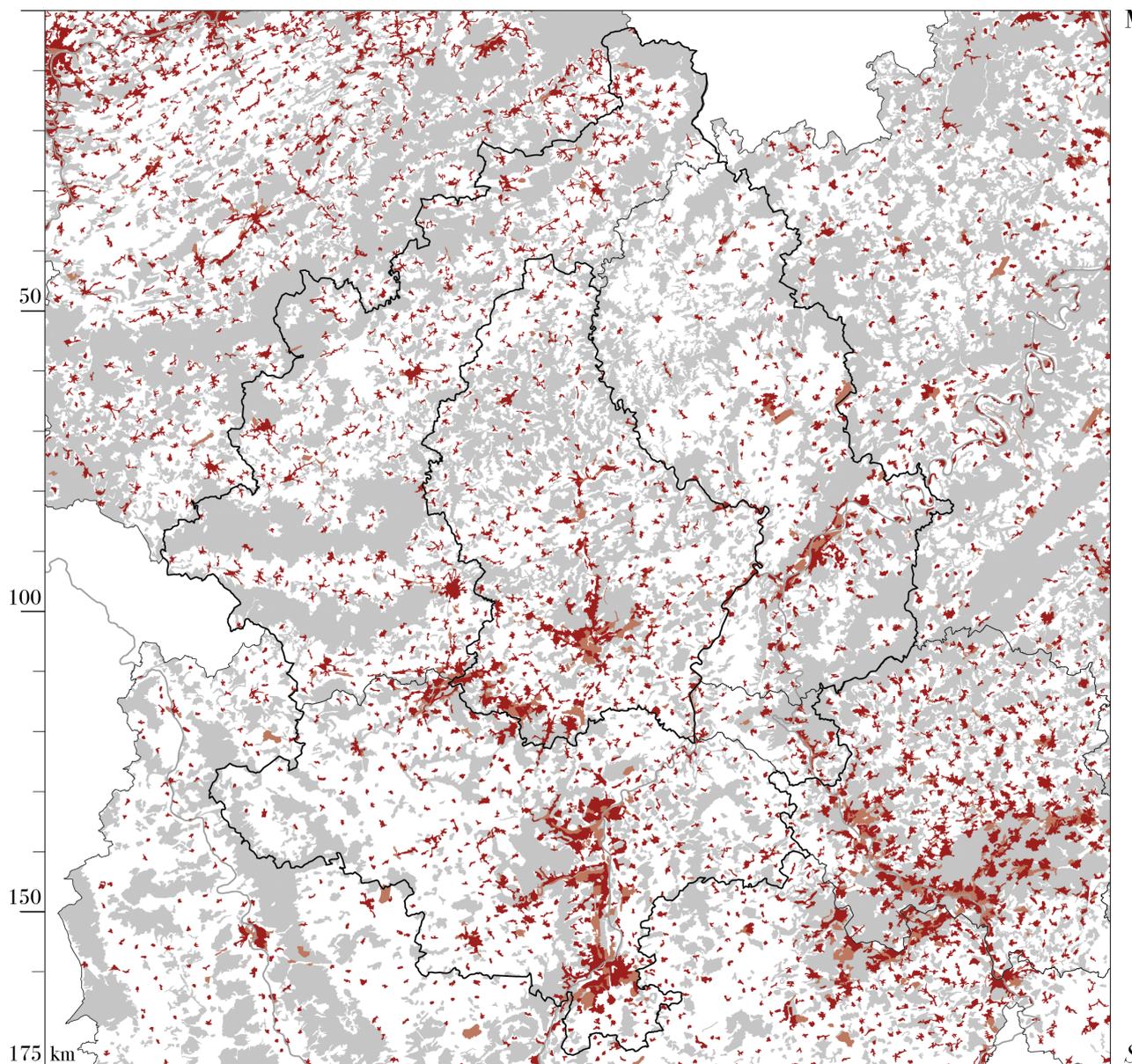
c'est bien des lignes à haute tension et du stratégique oléoduc CEPS de l'Otan dont dépend la sécurité énergétique du Luxembourg.

Production d'énergie renouvelable par km²



Sources : SIG-GR, OpenStreetMap, PCI

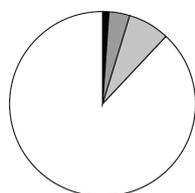
Occupation du sol : milieu construit



Les surfaces construites de la région fonctionnelle totalisent un peu plus d'un dixième de sa surface. Une certaine densité s'observe le long de l'axe Metz-

Luxembourg-Trier et dans les régions minières historiques, tandis que le reste du territoire est constellé de villages isolés de taille modeste.

Répartition au Luxembourg

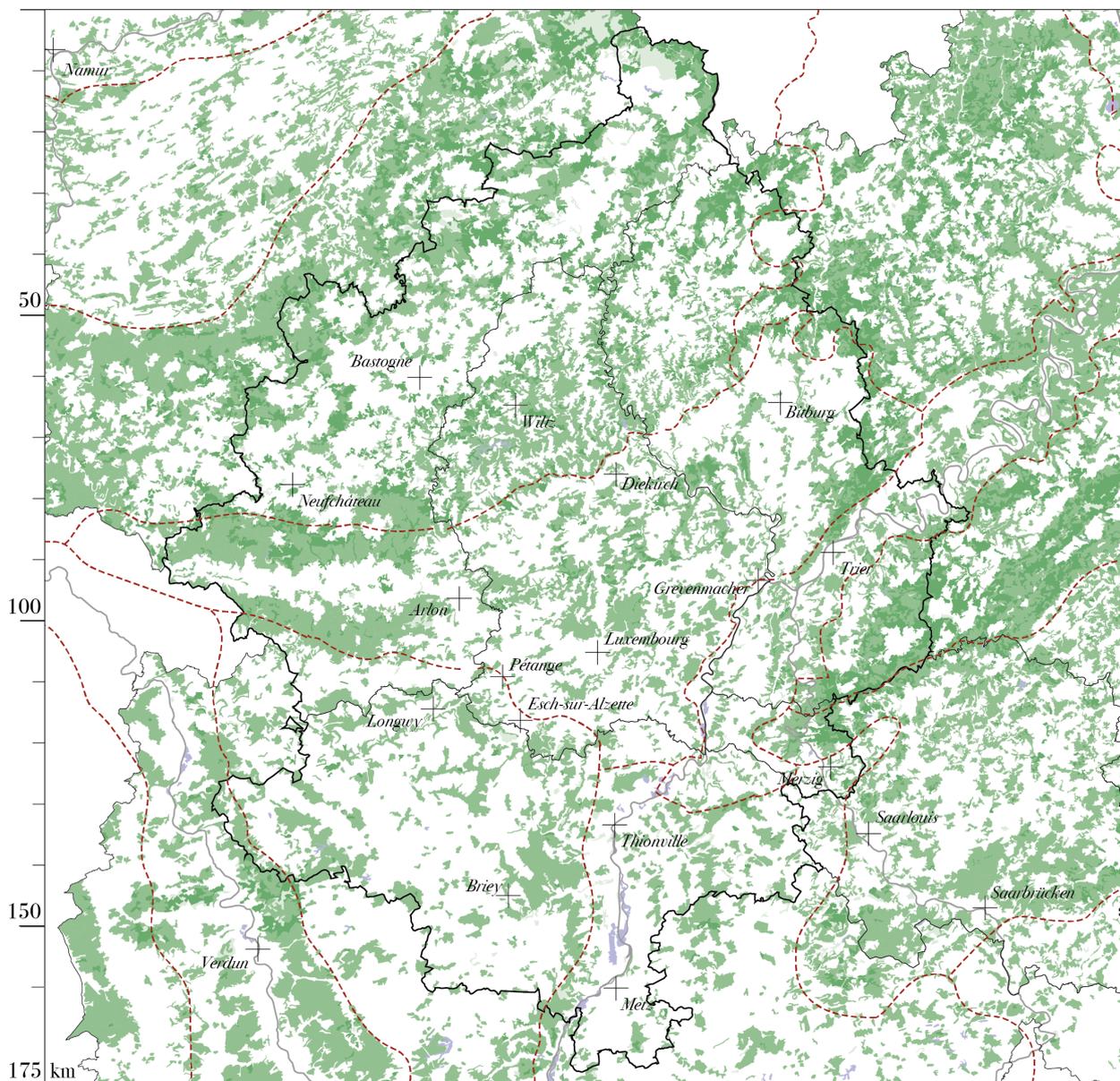


Espaces verts : 1%
Transport : 4%
Bâti : 7%

■ Bâti
■ Industrie
■ Forêt

Sources : SIG-GR, Céoportail.lu

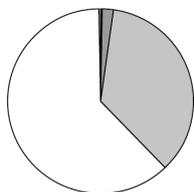
Occupation du sol : milieu naturel



les espaces boisés recouvrent encore une grande part du territoire de la région fonctionnelle, en particulier au nord, dans les Ardennes au profil vallonné.

Remarquons toutefois une forte discontinuité des forêts, au foncier fragmenté, ainsi que la rareté de zones humides en dehors des lits de rivière.

Répartition au Luxembourg

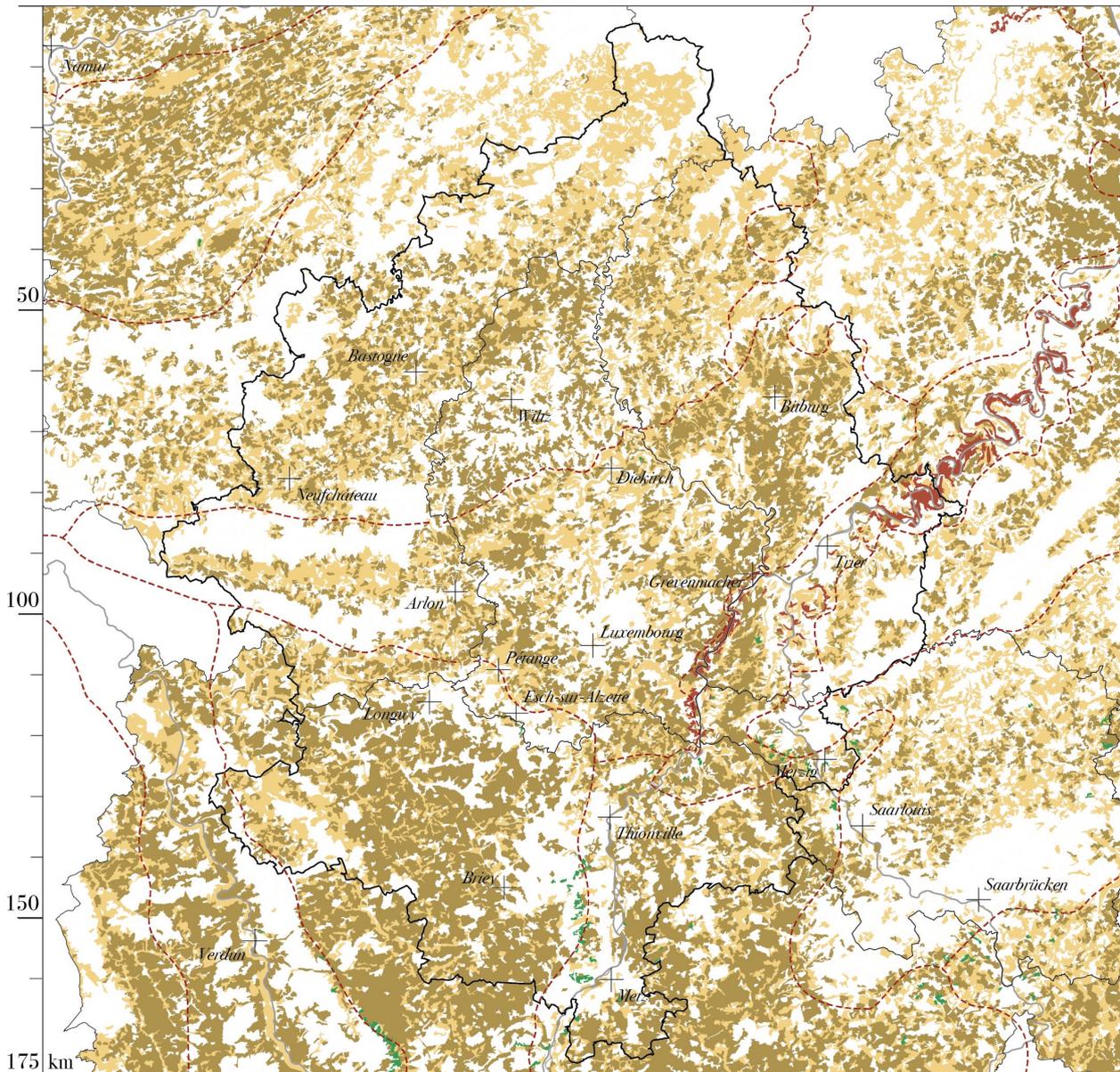


Eau : 1%
Espaces ouverts : 2%
Forêt : 36%

- Forêts
- Prairies
- Zones humides
- Région naturelle

Sources : SIG-GR, Meynen Schmithüsen, Géoportail.lu

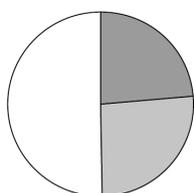
Occupation du sol : milieu cultivé



Environ la moitié des terres du Luxembourg est dédiée à l'agriculture, sous la forme de cultures ou de prairies. Au sud, plus fertile, les exploitations sont

plus vastes qu'au nord, au sol plus pauvre et plus accidenté. La vallée de la Moselle regroupe quant à elle des activités fruiticoles et viticoles.

Répartition au Luxembourg



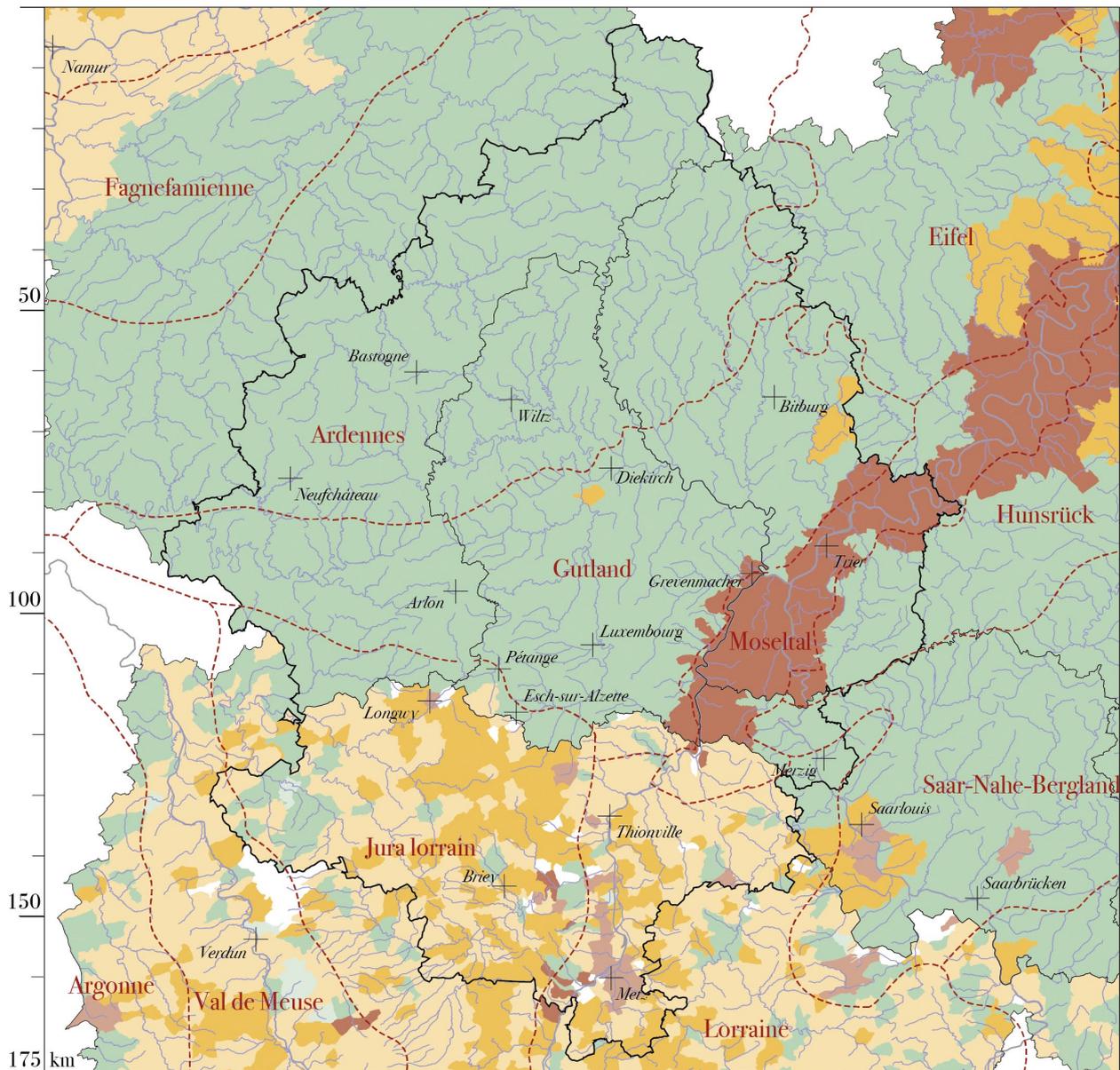
Cultures : 24%

Pâturages : 26%

- Grandes cultures
- Vignes
- Vergers
- Pâturages
- Région naturelle

Sources : SIG-GR, Meynen Schmithüsen, Géoportail.lu

Exploitation agricole dominante



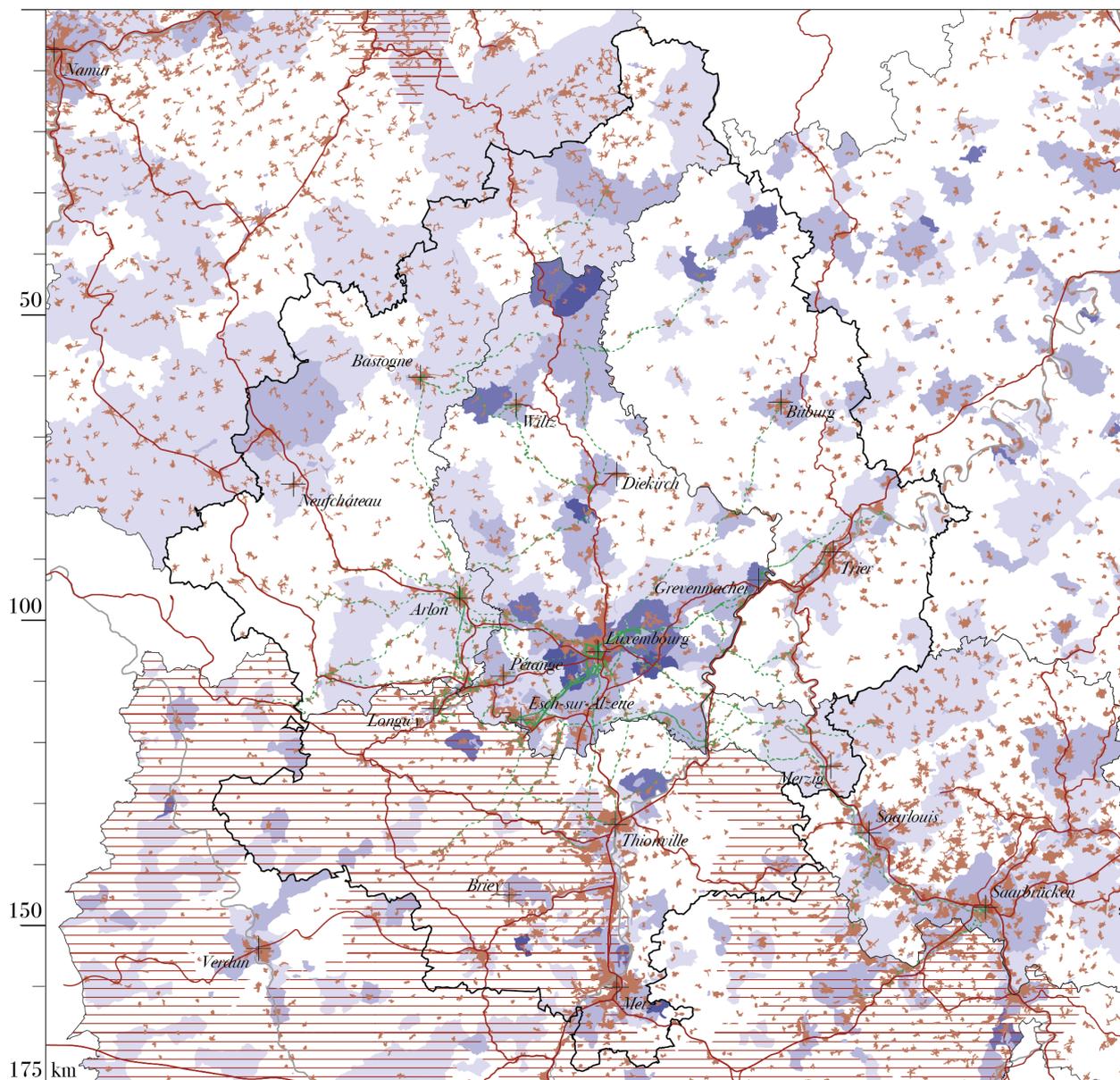
Les terres vallonnées du Luxembourg sont majoritairement utilisées à des fins d'élevage de grands herbivores, dont on extrait une gamme de

produits à haute valeur ajoutée, exportables : viande, lait, fromage. Dans les plaines domine une variété de grandes cultures.

- Herbivores
- Granivores
- Grandes cultures
- Polyculture
- Cultures spécialisées
- Horticulture
- Région naturelle

Sources : SIG-GR, Meynen Schmithüsen

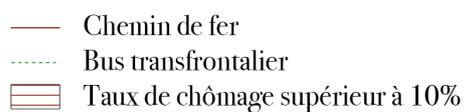
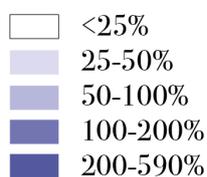
Emploi



Malgré une structure urbaine dispersée, la plupart des emplois de la région fonctionnelle se concentrent dans les villes et au sud du Luxembourg. Notons aussi

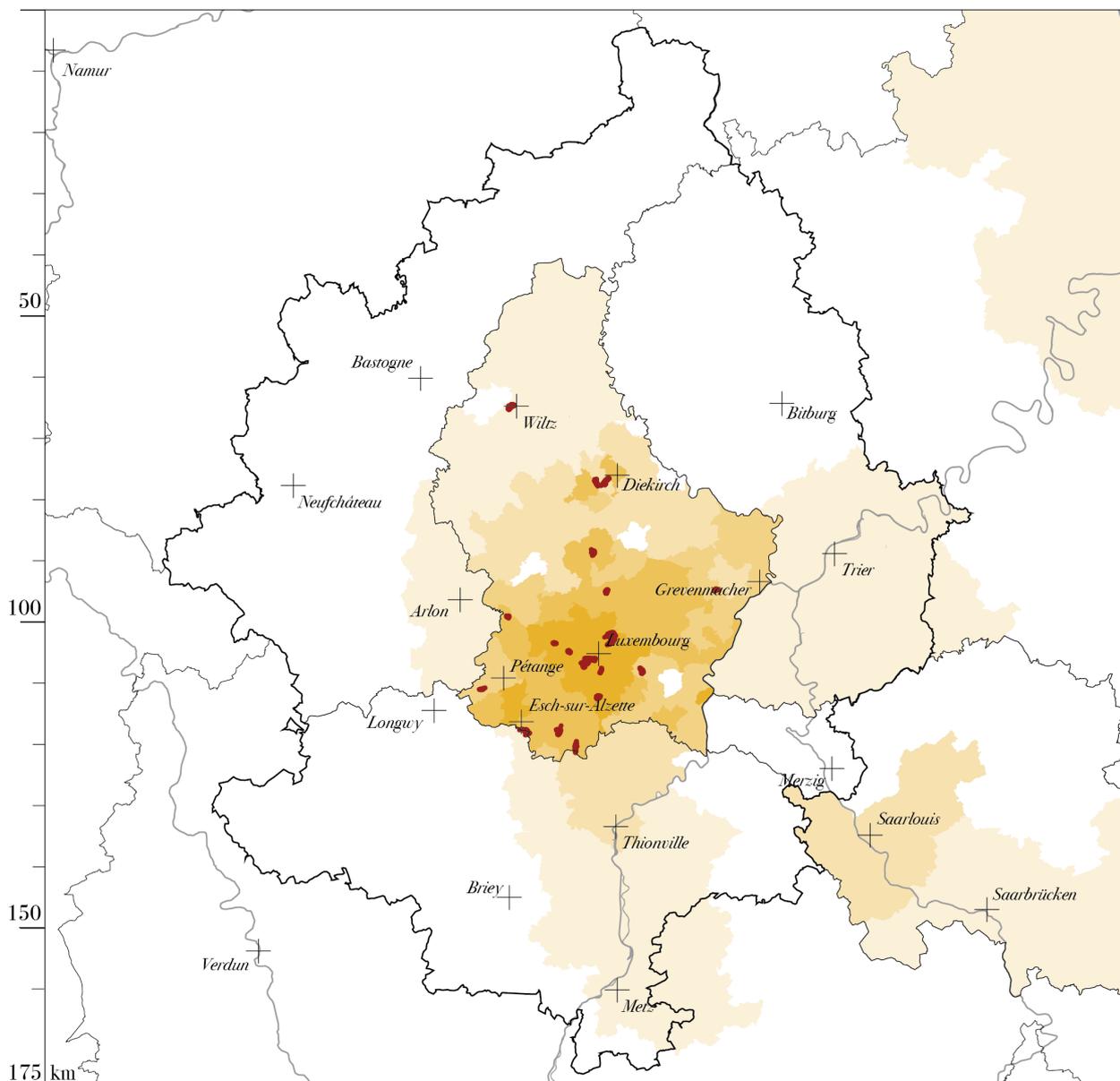
l'importance des villages proches des frontières. Le taux de chômage est le plus élevé en France et en Belgique, un catalyseur de mobilité transfrontalière.

Taux d'emploi par habitant



Sources : SIG-GR, OpenStreetMap

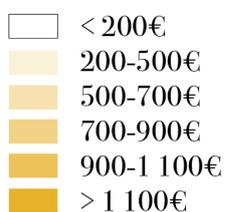
Immobilier



D'un marché immobilier particulièrement fragmenté et sous pression résultent des disparités énormes entre l'agglomération élargie de Luxembourg-Ville

et le reste de la région fonctionnelle. Une flambée qui épargne relativement le nord du Grand-Duché, mais pas les régions françaises limitrophes.

Prix médian du mètre carré de terrain à bâtir



■ Zone de densification

Sources : SIG-GR, Géoportail.lu, INSEE, RLP, LandSaarland, Statbel

Régions naturelles



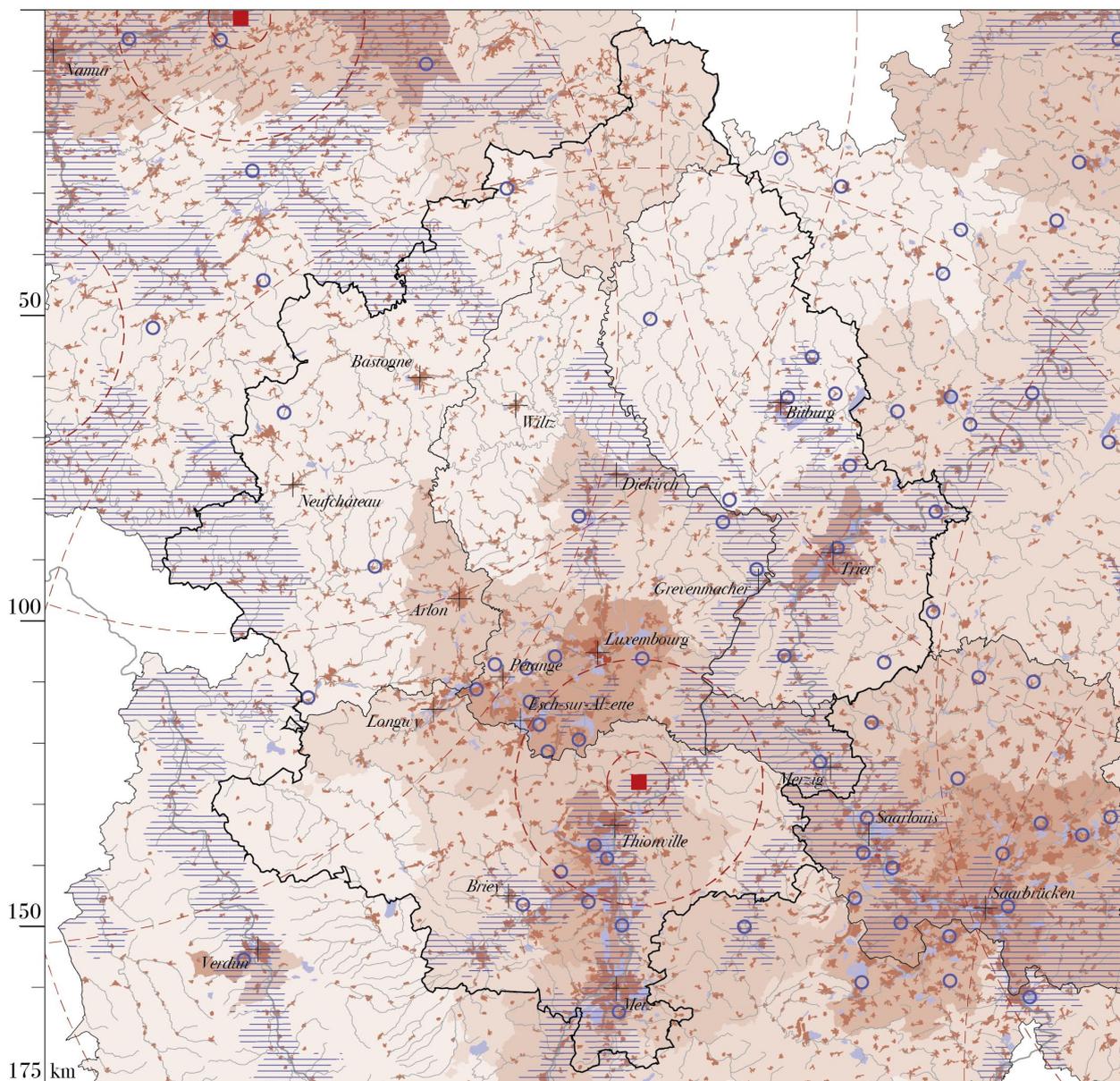
Le territoire de la région fonctionnelle se situe à la rencontre de plusieurs ensembles bio-géographiques : les Ardennes, le Jura lorrain et la vallée de la Moselle.

Au centre se situe le cœur fertile du Luxembourg : le Gutland. Un réseau hydrographique abondant vient structurer les aires naturelles protégées.

- Topographie
- Région naturelle
- Zone naturelle protégée
- Cours d'eau navigable
- Cours d'eau secondaire

Sources : SIG-GR, Meynen Schmithüsen

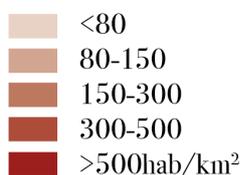
Risques



Les zones exposées aux plus forts risques environnementaux (érosion, inondations et Seveso) sont pour la plupart densément peuplées, localisées

le long des cours d'eau ou dans la plaine humide de l'Alzette. Finalement, la présence de multiples centrales nucléaires demeure un facteur de risque.

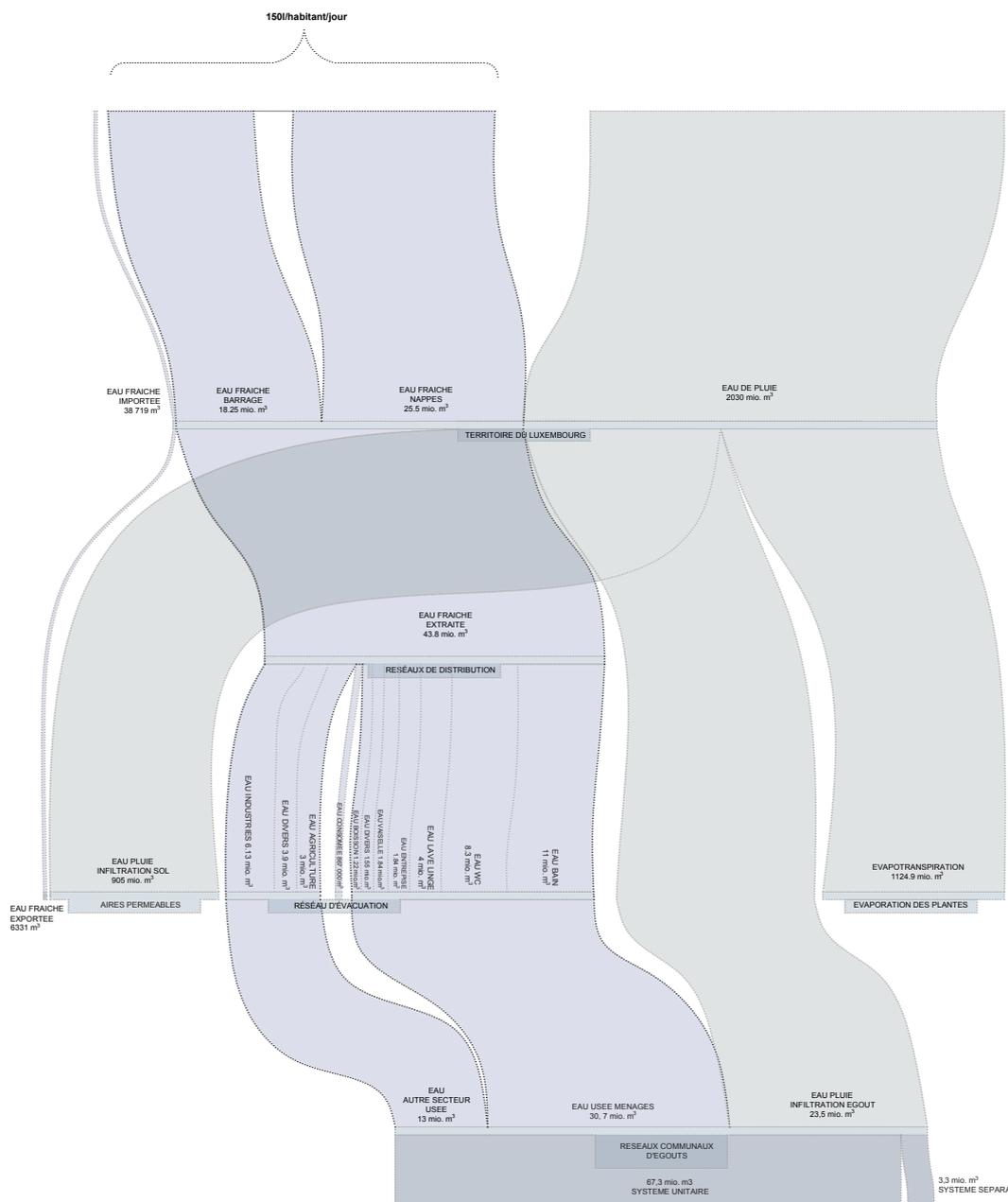
Densité de population



- Site Seveso
- Centrale nucléaire avec zones de danger
- Risque d'inondation

Sources : SIG-GR

Usage d'eau : 150l/habitant/jour



Le scénario 0 représente la situation actuelle en matière de gestion de l'eau sur le territoire du Grand-Duché de Luxembourg. Les principales caractéristiques de cette gestion sont cruciales pour les scénarios futurs afin de renforcer ou de transformer la dynamique actuelle.

Au niveau démographique, ce scénario 0 est basé sur la population actuelle du Luxembourg (614.000 habitants) à laquelle on ajoute les travailleurs non résidents qui utilisent également le réseau (166.000 individus). Le nombre total d'utilisateurs dans le scénario 0 est donc de 780.000.

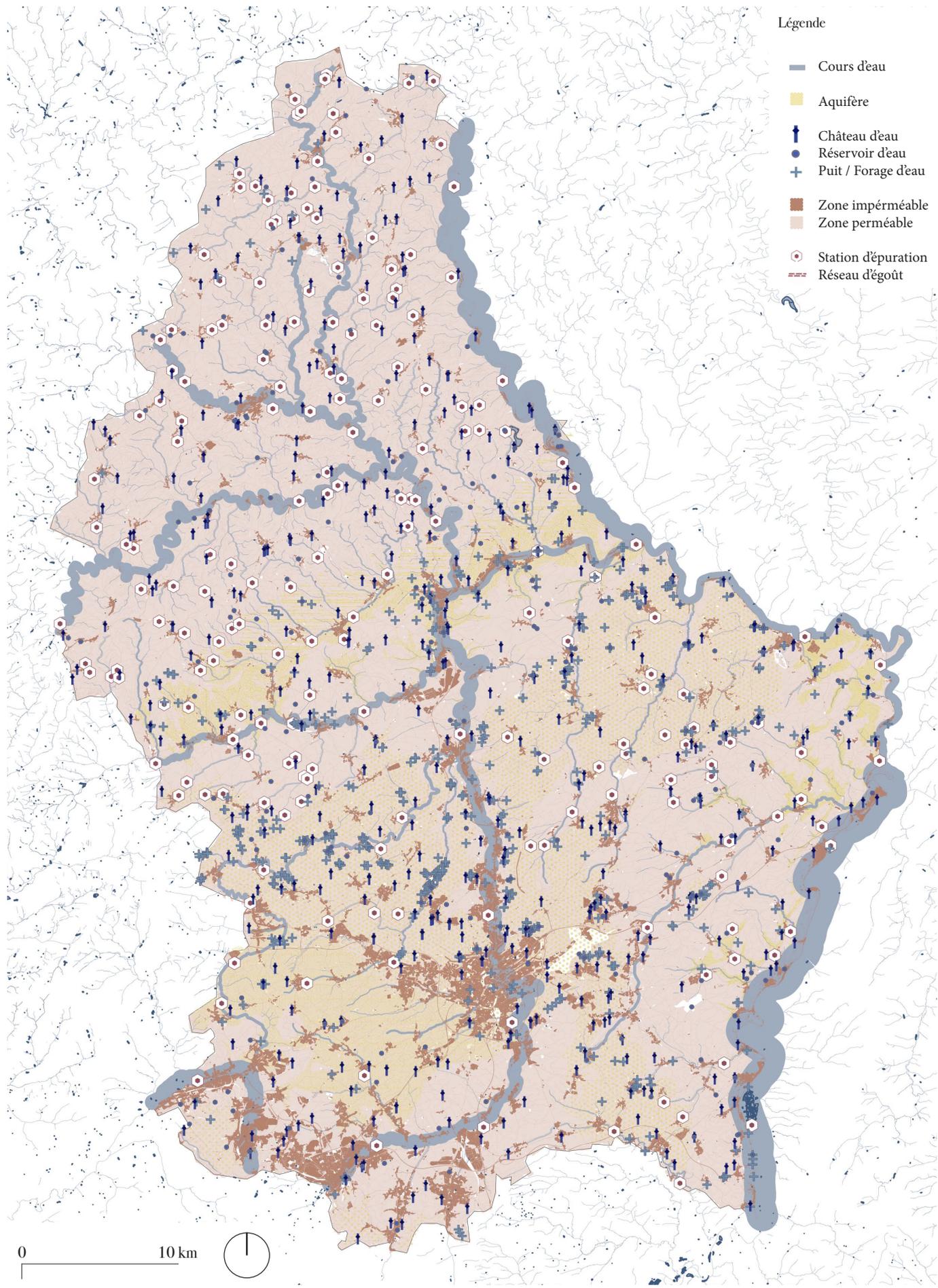
Ce scénario montre que la consommation actuelle d'eau douce extraite ou provenant du barrage de l'Esche-sur-Sûre

est équivalente à **150l/habitant/jour**.

L'origine de ces eaux fraîches provient à deux tiers de l'eau douce proviennent des eaux souterraines et un tiers du barrage d'Esche-sur-Sûre.

Enfin, la gestion des eaux usées est aujourd'hui un processus qui est desservi par des égouts qui ne sont «séparatif» qu'à 5 % sur l'ensemble du réseau. Un réseau «séparatif» traite l'épuration des eaux de pluie différemment des eaux usées domestiques et des secteurs industriels ou agricoles. Cette séparation permet d'économiser de l'énergie et donc du CO2.

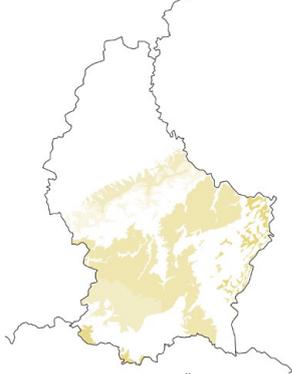
Les cinq systèmes de l'eau au Luxembourg





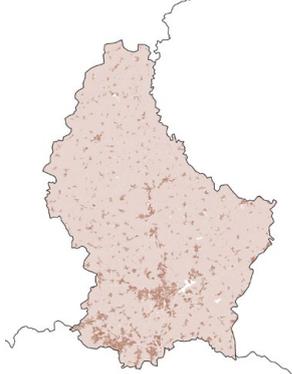
L'eau de surface

Ce système est composé des cours d'eaux, tels que les rivières et lacs du Grand-Duché de Luxembourg. Les rivières sont représentées volontairement proportionnelle à leur débit. Ces système représente une grande ressource d'eau douce.



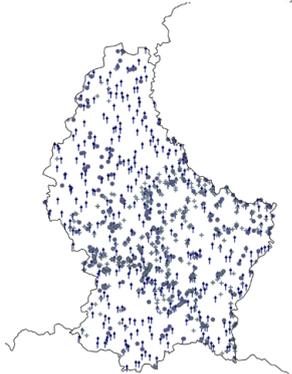
L'eau des nappes

Les deux tiers de la consommation actuelle d'eau douce proviennent de six grands aquifères qui varient en qualité et en morphologie. Le principal aquifère est celui du Grès de Luxembourg. Géographiquement central, cet aquifère permet une pénétration rapide de l'eau grâce à ses nombreuses fissures remplies de sable à haut pouvoir filtrant.



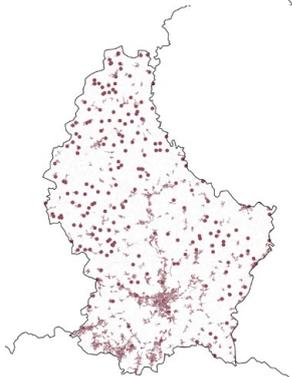
L'eau de pluie

La proportion entre les zones perméables et imperméables est essentielle pour qu'un territoire puisse recharger ses nappes phréatiques. Le Luxembourg est l'un des pays européens ayant les niveaux d'imperméabilité les plus élevés, équivalant à plus de 5 % de son territoire (EU Commission, 2012).



L'eau potable

La répartition nationale des réserves d'eau potable est un atout majeur du Grand-Duché. Grâce à son système décentralisé, le stockage, la distribution et les besoins immédiats en eau douce peuvent être réalisés au niveau communal ou du village.



L'eau à traiter

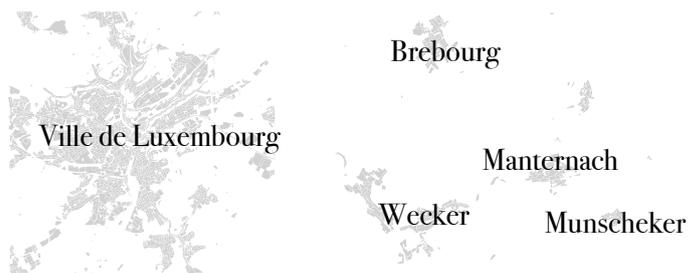
Les réseaux d'assainissement du Grand-Duché suivent la logique de l'eau potable par la décentralisation à l'échelle nationale. La gestion communale des réseaux d'assainissement possède différents degrés d'autonomie et leur gestion représentent un potentiel inexploité pour économiser de l'énergie et donc du CO2.

Les cinq systèmes de l'eau au Luxembourg

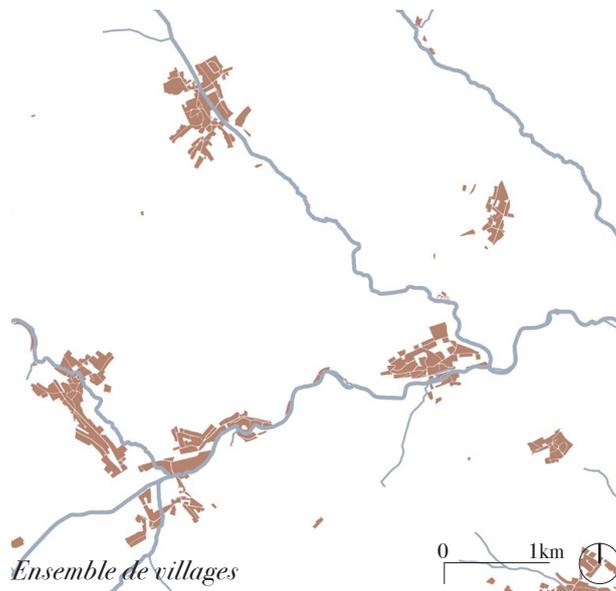
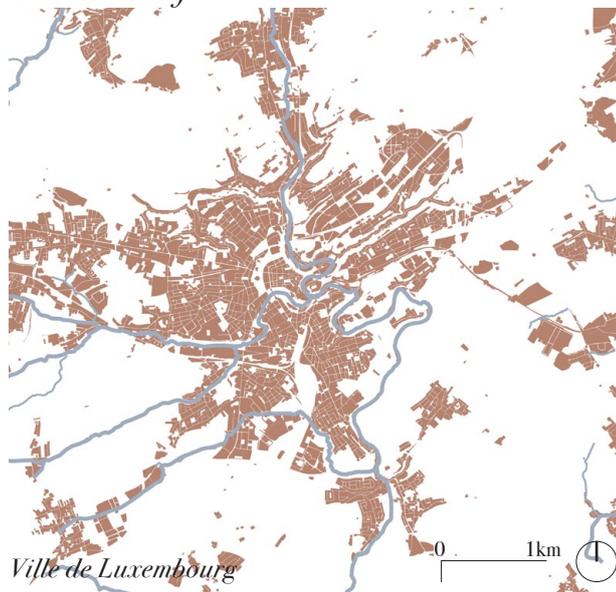
Les cartes suivantes représentent une série de zoom effectués sur la ville de Luxembourg et les village de Wecker, Manternach, Munscheker, Brebourg. Ces zoom permettent de voir le contraste ou similitudes entre des typologie plus «centralisée» et plus «décentralisée» pour chacun des systèmes énoncés à la page précédente. (Légendes cf. p2)

** Note : Le réseau de distribution n'est pas présent pour des raisons de confidentialité de l'État.*

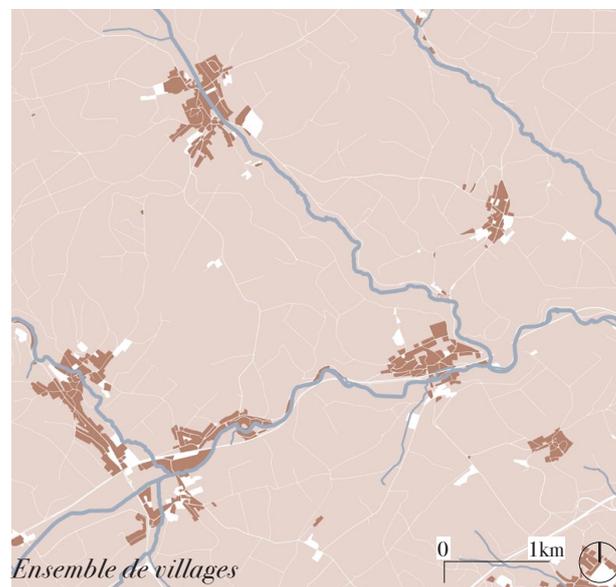
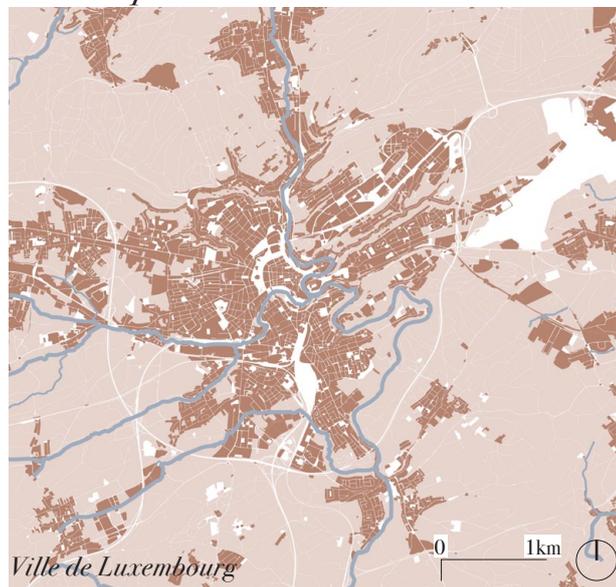
*** Note : Le réseau d'épuration ne nous a pas été communiqué pour des raisons de confidentialité de l'État. Le réseau représenté est donc une interprétation basée sur les routes nationales et les information obtenues sur les systèmes de gestion des eaux usées.*



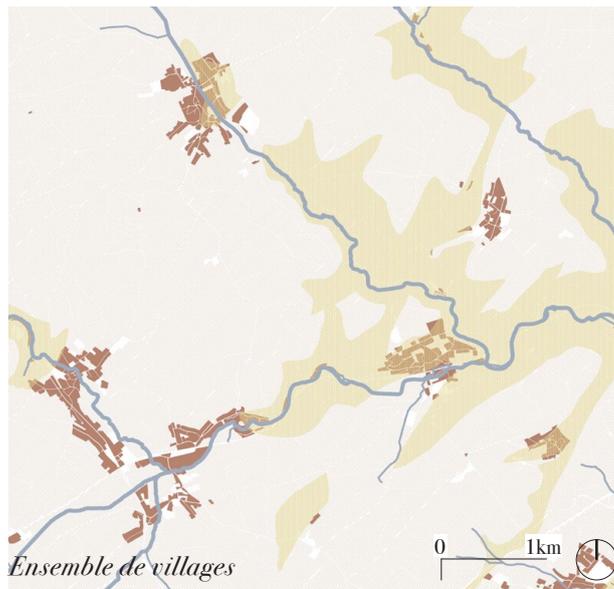
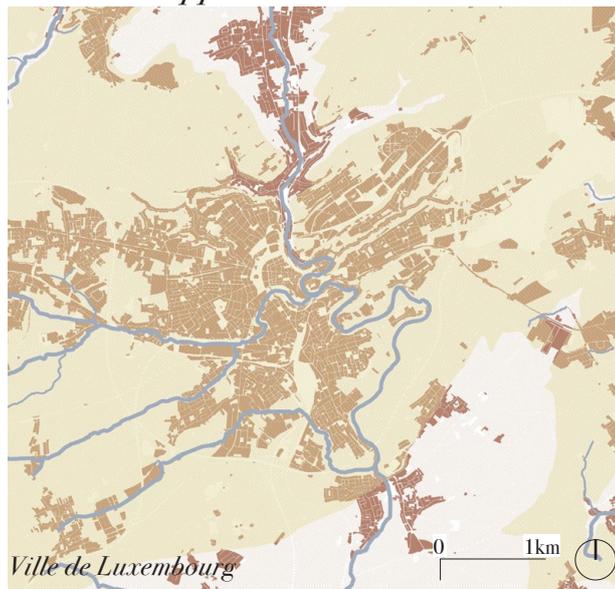
L'eau de surface



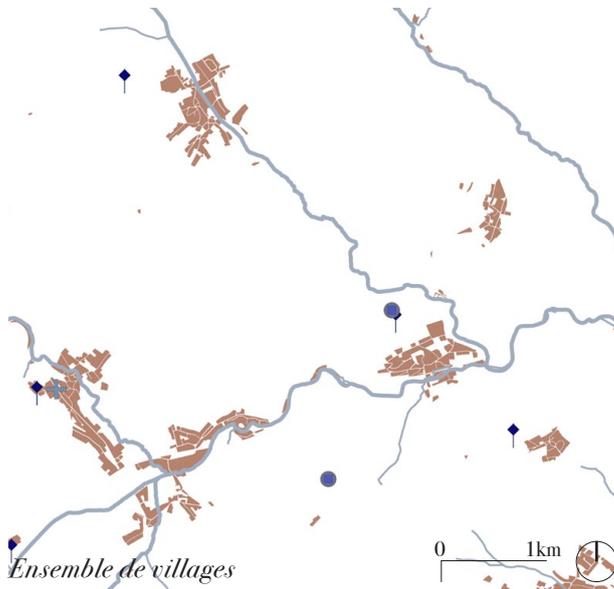
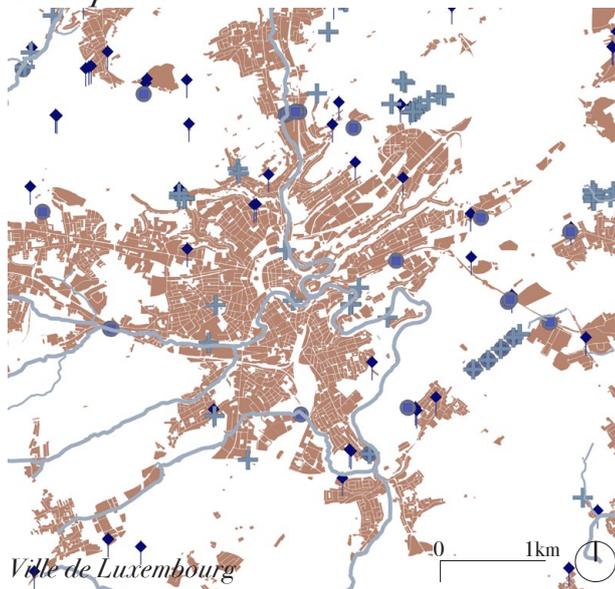
L'eau de pluie



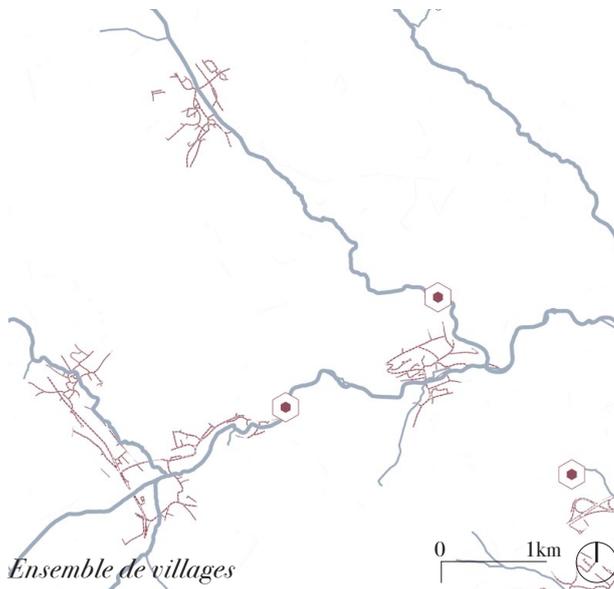
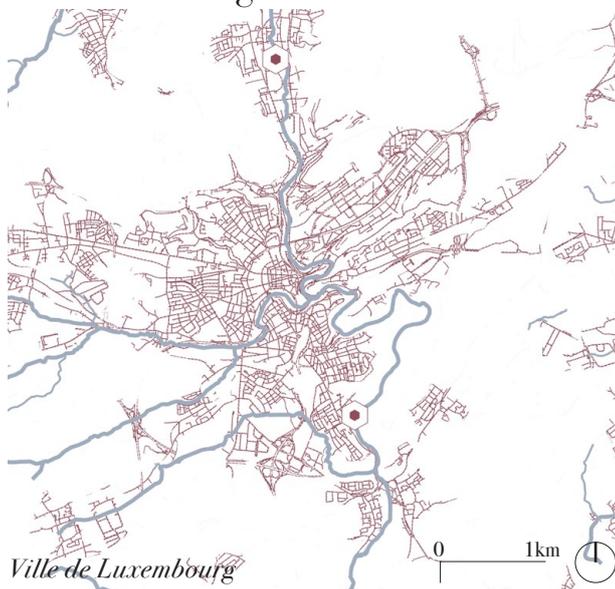
L'eau des nappes



*L'eau potable**

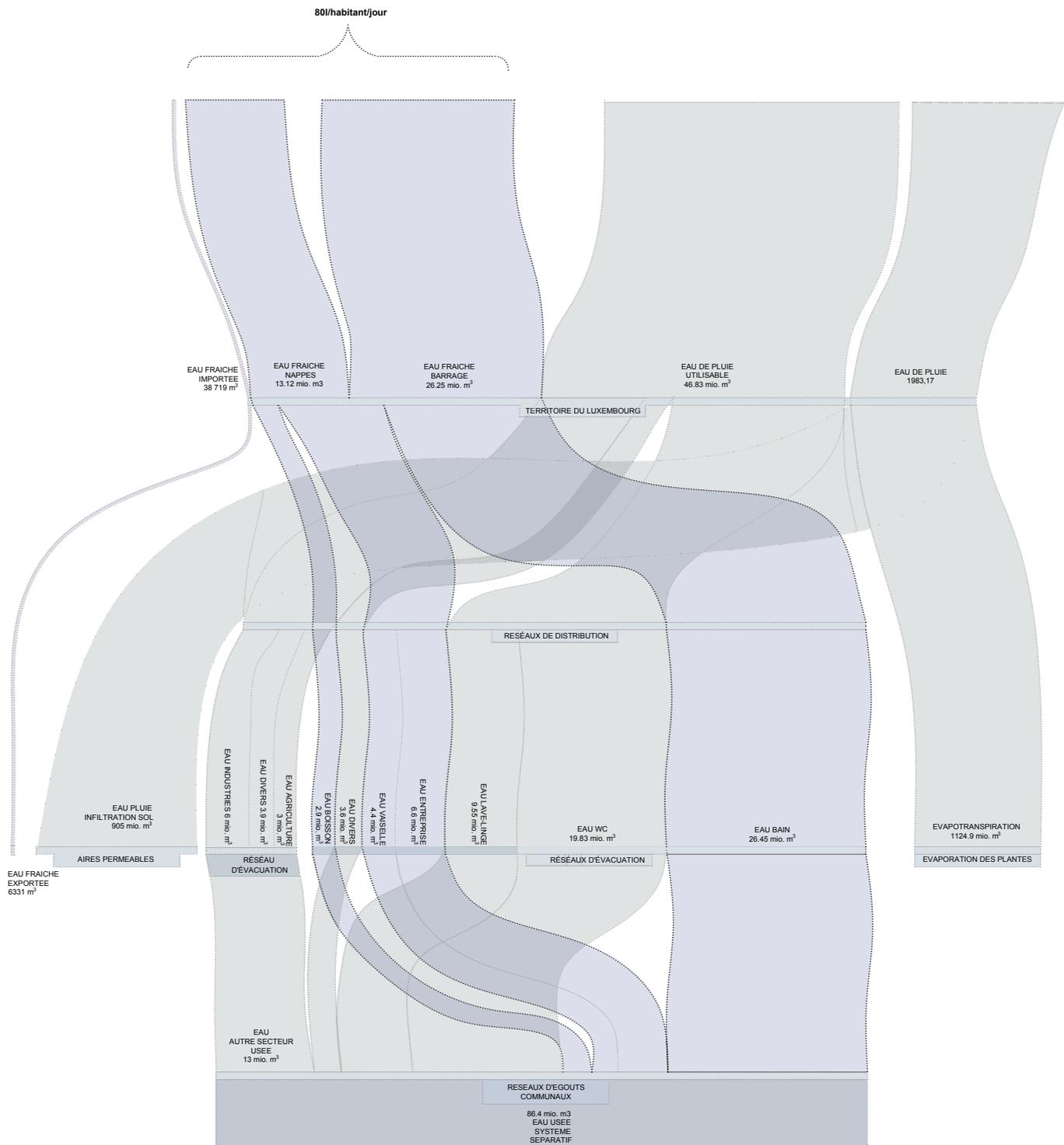


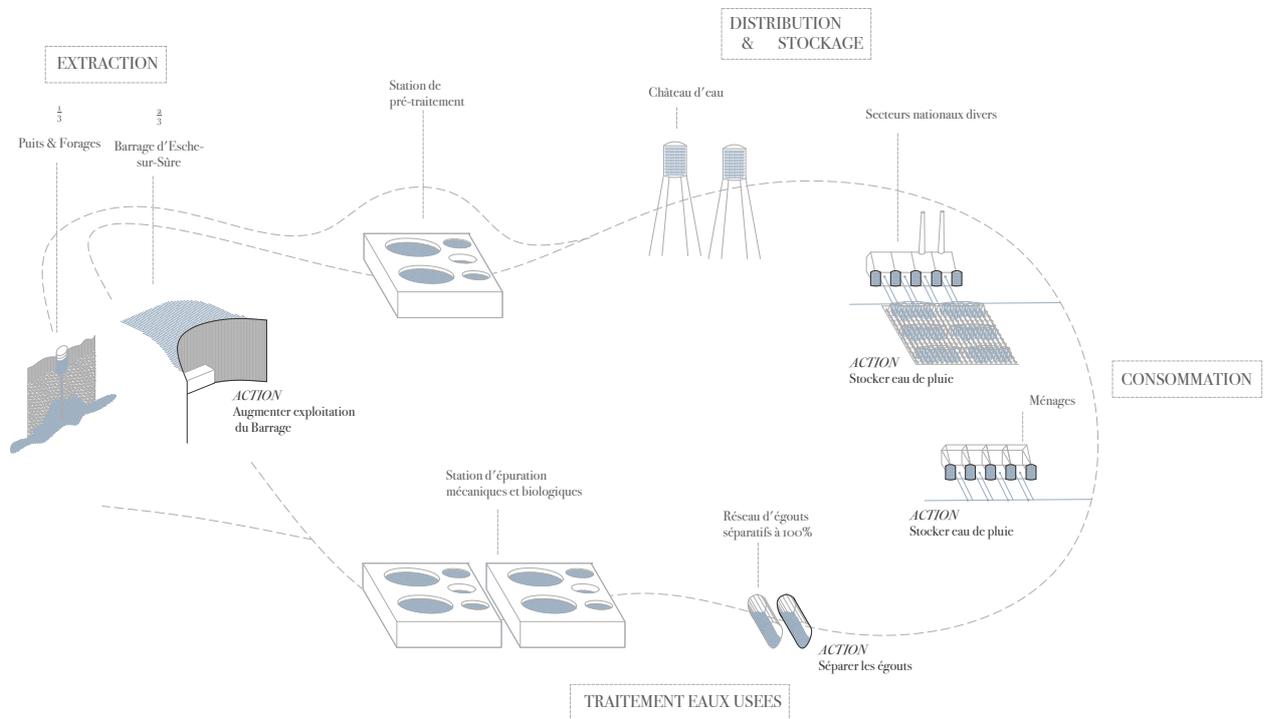
*L'eau usée ménagère***



Des nouveaux cycles de l'eau pour les trois visions du monde

Cradle-to-Cradle, 80l/habitant/jour





Le premier scénario présente une vision Cradle-to-cradle basée sur des systèmes de production techniques visant à minimiser les pertes d'énergie, de déchets et de matières premières. Ce scénario est donc basé sur un recyclage maximal, grâce à des infrastructures plus adaptées, des circuits fermés cycliques, l'utilisation de l'eau disponible (eau de surface, eau de pluie) avant d'en extraire une plus grande partie. Pour l'approvisionnement en eau, la vision Cradle-to-cradle opte pour une extraction d'un tiers des eaux souterraines et de deux tiers des eaux des barrages, dont la logistique est beaucoup plus organisée et contrôlée que celle des eaux souterraines, qui nécessitent de l'énergie pour être extraites.

Les besoins en eau douce sont donc calculés sur la base de la projection démographique à l'horizon 2050 avec 1 342 000 utilisateurs et dans une vision où la récupération permet de maintenir notre consommation globale actuelle de 150l/jour/habitant. Cependant, grâce à un certain degré d'utilisation de l'eau de pluie, ce scénario montre que la consommation d'eau douce extraite ou provenant du barrage de l'Esche-sur-Sûre est réduite à 80l/habitant/jour. Enfin, dans ce scénario Cradle-to-cradle, les égouts sont complètement séparés afin d'économiser de l'énergie dans le traitement des eaux usées.

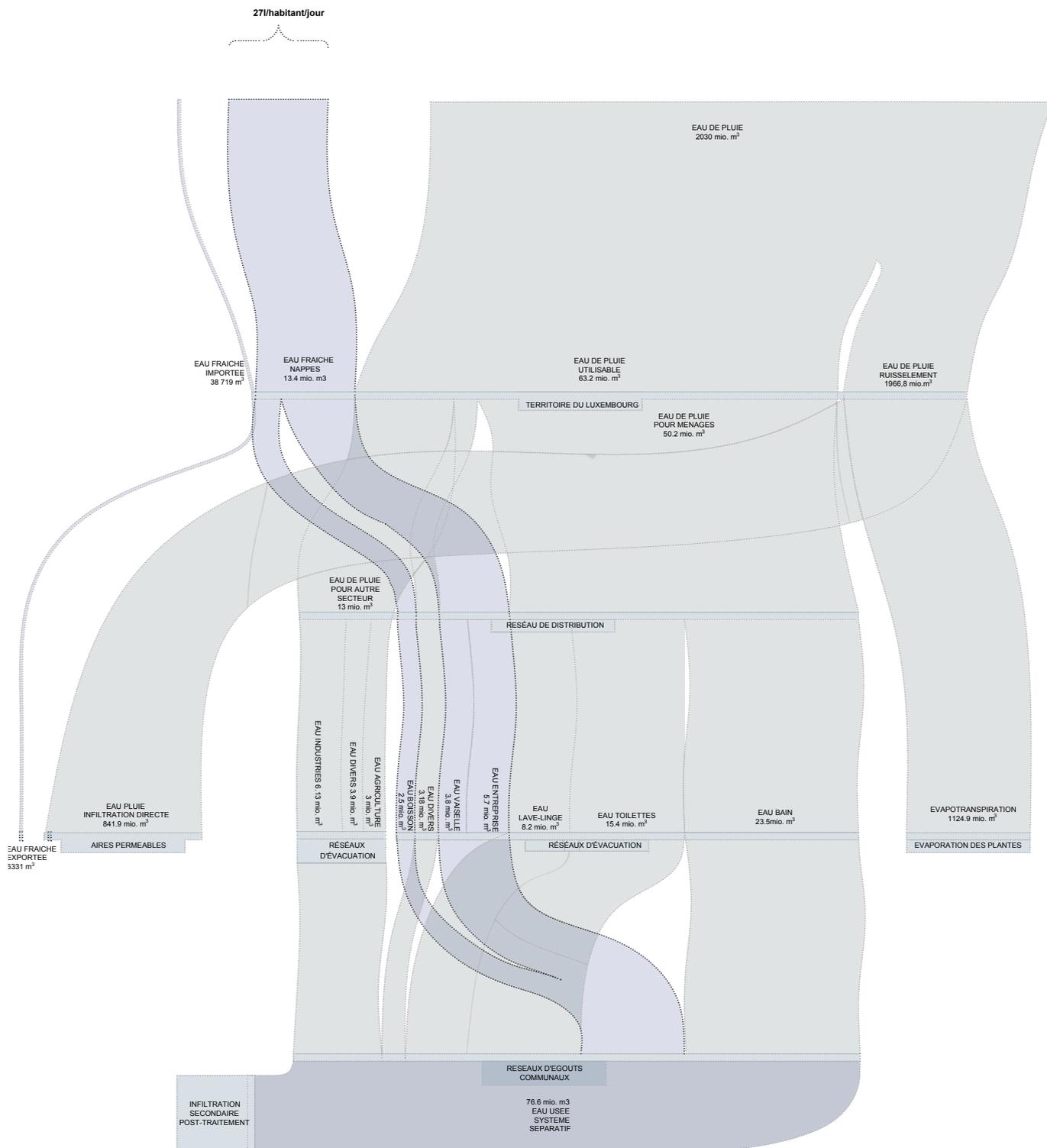
Style de vie des usagers:

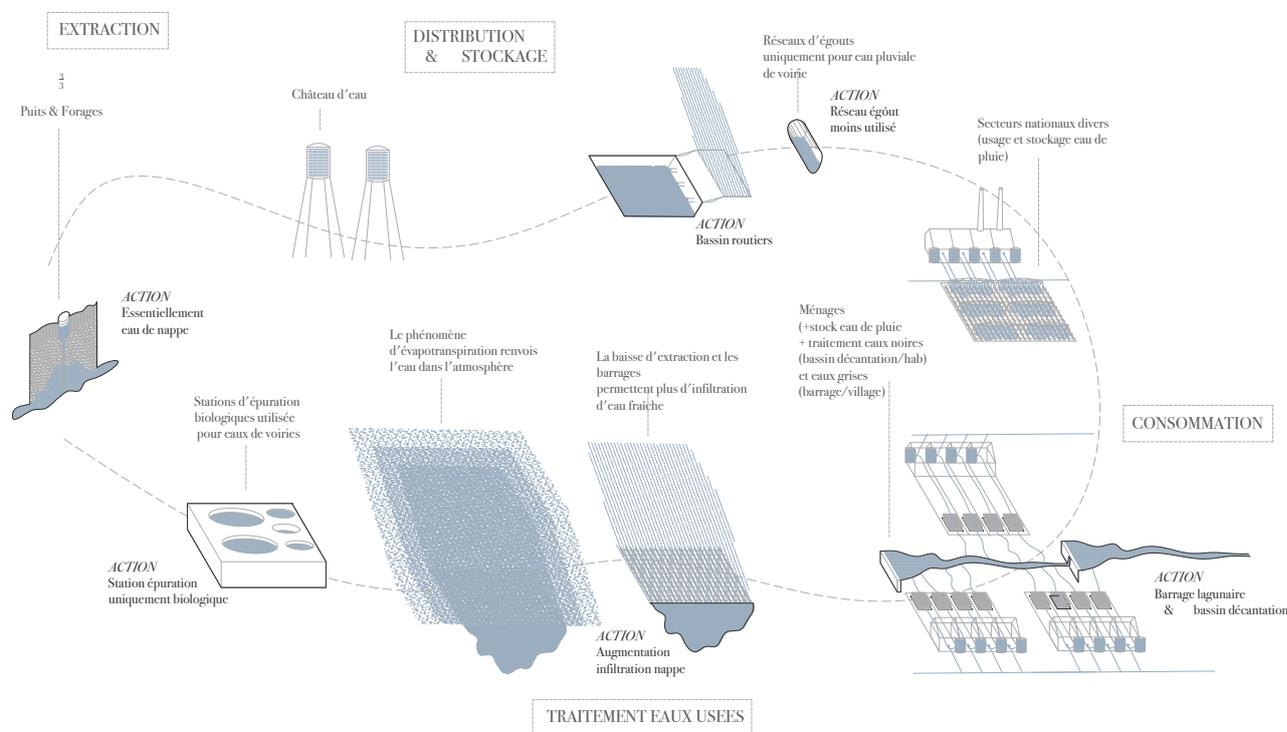
> changement léger du mode de vie

Gestion actuelle
des eaux

Intégration des
5 systèmes dans
mode de vie

De-Growth, 271/habitant/jour





Le scénario de décroissance est basé sur l'idée de réduire la consommation et la production globales de ressources naturelles. Cette vision est basée sur les concepts d'autonomie et de biens communs. Ce scénario, comme le précédent, est basé sur des données démographiques projetées avec une population d'utilisateurs de 1 342 000 utilisateurs en 2050.

Contrairement au scénario *Cradle-to-cradle*, le scénario *De-growth* implique une réduction de la consommation des utilisateurs.

Ce scénario implique donc que la consommation globale d'eau douce passe à 130l /jour/utilisateur.

Cependant, grâce à un certain degré d'utilisation de l'eau de pluie, ce scénario montre que **la consommation d'eau douce extraite ou provenant du barrage d'Esche-sur-Sûre est réduite à 27l/habitant/jour.**

Toujours dans cette vision de diminution, l'eau douce ne proviendra que des eaux souterraines et ne sera extraite que pour les activités qui nécessitent cette qualité.

Enfin, l'utilisation des réseaux d'égouts sera limitée essentiellement aux eaux de pluie qui s'écoulent des

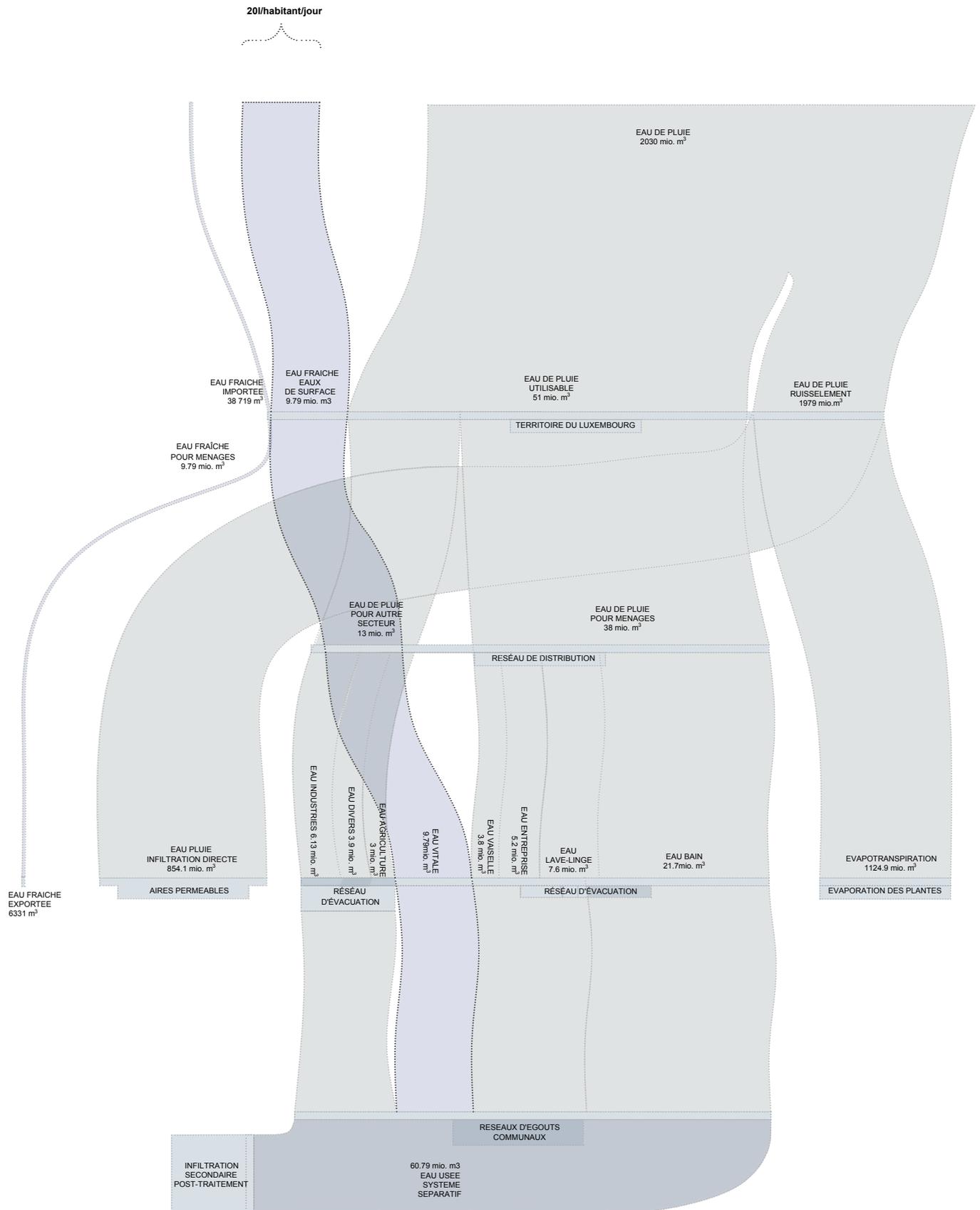
Style de vie des usagers:

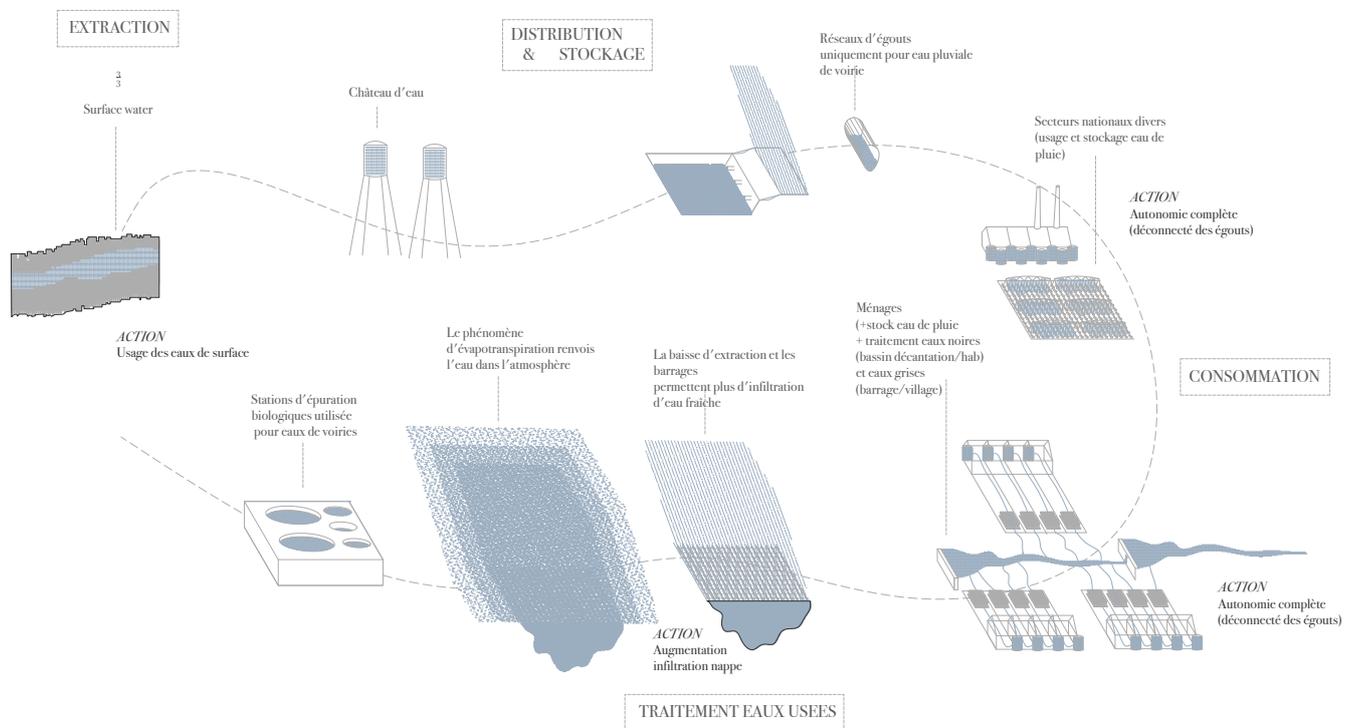
>> changement croissant du mode de vie



réseaux routiers. Cette limitation de l'utilisation des égouts nécessitera l'installation de bassins routiers pour filtrer ces eaux routières ainsi que des systèmes de lagunes naturelles (barrages) dans chaque commune ou village qui filtreront naturellement les eaux grises après leur passage dans les bassins de décantation des eaux noires. Ces deux procédés font déjà partie des procédés de filtrage qui existent au Luxembourg mais sont actuellement mis en place pour les régions les plus autonomes.

Deep Ecology', 20l/jour/hab





Le troisième scénario, celui de *Deep Ecology*, est basé sur une vision où les humains et les non-humains partagent leur existence sur Terre et ont tous le droit d'accéder à des ressources de qualité. Cette vision défend une Terre aux écosystèmes respectés qui, à leur tour, contribuent à une eau de surface de haute qualité. Dans ce scénario, les humains peuvent consommer directement les eaux de surface et maintenir les systèmes de filtrage naturels développés dans le scénario de déclin (bassin de décantation, bassin routier et barrage lagunaire). La *Deep Ecology* implique une réduction de la consommation des utilisateurs au minimum vital. Ce scénario implique donc que la consommation d'eau douce extraite soit limitée au strict minimum nécessaire, et donc à 20 l/jour/utilisateur.

La *Deep Ecology* implique également une utilisation responsable des ressources en eau de pluie et un changement de nos habitudes pour les activités qui n'ont pas réellement besoin d'eau. À cet égard, l'utilisation de l'eau pour les toilettes est remplacée par des toilettes sèches. En outre, l'utilisation d'eau douce pour des activités «diverses» (arrosage du jardin,

Style de vie des usagers:

>>> changement radical du mode de vie



lavage de la voiture, etc.) n'est plus autorisée. Le reste des activités ménagères et les différents secteurs (agriculture, industrie, etc.) sont tous réalisés avec de l'eau de pluie, de sorte que toutes les eaux usées seront réinfiltrées et évaporées dans la phase finale du cycle de l'écologie profonde. Cette infiltration n'aura lieu que lorsque les eaux usées seront traitées efficacement et permettra de recharger les aquifères, qui deviennent les principales sources d'approvisionnement en eau douce.

Sources cartographiques

Géoportail.lu – Le géoportail national du Grand-Duché du Luxembourg. Administration du Cadastre et de la Topographie. <https://www.geoportail.lu>

GR Atlas – L'Atlas de la Grande Région SaarLorLux. Université du Luxembourg, 2019. <http://gr-atlas.uni.lu>

Meynen, Emil, Schmithüsen, Josef, 1953-62. *Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands*. Remagen/Bad Godesberg : Bundesanstalt für Landeskunde (BfL).

OpenStreetMap. OpenStreetMap Foundation (OSMF), 2021. <https://www.openstreetmap.org>

Projects of Common Interest (PCI) Interactive Map. Commission européenne, 2019. https://ec.europa.eu/energy/infrastructure/transparency_platform/map-viewer/main.html

Sohn, Christophe (ed.), 2012. *Luxembourg: an Emerging Cross-Border Metropolitan Region*. Brussels: Peter Lang.

Système d'Information Géographique de la Grande Région (SIG-GR). Ministère de l'Énergie et de l'Aménagement du territoire du Grand-Duché de Luxembourg, 2017. <https://www.sig-gr.eu>

Uni-GR. Partenaires. Université de la Grande Région, 2016. <http://www.uni-gr.eu/>

Source des valeurs systèmes d'eau

1. SOURCE DES VALEURS PRÉSENTÉES: SCENARIO 0

1.1 Eau de pluie

Source: 'Water resources long-term annual average', Eurostat, 2020 consultable en ligne: <https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/graph.do?tab=graph&plugin=1&language=en&pcode=ten00001&toolbox=type>

1.2 Eau fraîche barrage

Source: « Désignation de zones de protection des eaux souterraines destinées à la consommation humaine », dans Brochure d'information de l'Administration de la gestion de l'eau. Le gouvernement du Grand-duché de Luxembourg, Ministère du Développement durables et des Infrastructures.

P4. Le rapport indique que la consommation actuelle d'eau douce au Luxembourg est de 120 000 m³/jour.

Le rapport indique que deux tiers de cette quantité sont extraits de la nappe phréatique et qu'un tiers de l'eau provient du barrage de l'Esche-sur-Sûre :

120 000m³/jour
= 120 000m³ x 365j
= 43,8 mio. de m³/an

Et si nous divisons proportionnellement, nous obtenons :

66.6% de 43,8 millions de m³/an = 25.5 millions de m³/ an (Nappes phréatiques)

33.3% de 43,8 millions de m³/an = 18.25 millions de m³/an (Barrage d'Esche-sur-Sûre)

1.3 Eau fraîche nappe

Cf. 1.2

1.4 Eau fraîche extraite

Cf. 1.2

1.3 Eau fraîche importée et exportée

Source: Data de « Resource Trade.Earth », consultable en ligne: <https://resourcetrade.earth/?year=2018&importer=442&category=118&units=weight>

1.4 Evapotranspiration

Source: 'Water resource: long-term annual average', *Actual Evapotranspiration*, Eurostat, 2020, consultable en ligne: <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ten00001/default/table?lang=en>

1.5 Utilisation eau des ménages

Source 1: 'Utilisation de l'eau potable' par l'Administration de la Gestion de l'eau, consultable en ligne: https://eau.public.lu/eau_potable/economie_eau_potable/index.html

Source 2: L'eau potable dans la capitale en cinq graphiques dans 'PaperJam Business Zu Lëtzebuerg', consultable en ligne: <https://paperjam.lu/article/eau-potable-a-luxembourg-en-ci>

1.6 Utilisation eau d'autres secteurs (Agriculture, Divers, Industrie)

Source: 'Utilisation de l'eau potable' par l'Administration de la Gestion de l'eau, consultable en ligne: https://eau.public.lu/eau_potable/economie_eau_potable/index.html

1.7 Eau pluie infiltration sol

L'infiltration du sol est comprise comme la définition donnée par Eurostat du «Flux interne», c'est-à-dire «la quantité d'eau qui pénètre dans le sol afin de renouveler, de manière naturelle, le ruissellement et les eaux souterraines, exclusivement à partir des précipitations sur un territoire».

Source: 'Water resource: long-term annual average', *Internal flow*, Eurostat, 2020, consultable en ligne: <https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&plugin=1&language=en&pcode=ten00001>

1.8 Eau de pluie infiltration égout

Cette valeur est calculée sur la base des valeurs de la station d'épuration de Beggen, qui traite les eaux usées de la ville de Luxembourg.

Ce rapport indique que la quantité totale d'eaux usées traitées équivaut à 13 329 000 m³/an pour 154 524 utilisateurs.

Selon cette relation linéaire nous pouvons établir que 1 habitant équivaut donc à 86,25 m³/an.

Appliqué aux 780 000 usagers (614 000 habitants et 166 000 frontaliers) = 63.9 millions m³/an.

Sachant que l'extraction d'eau fraîche insérée dans le réseau est de 43,8 millions de m³/an (cf. 1.2), on peut donc établir que l'eau de pluie s'infiltrant dans le réseau d'égouts est de 23,5 millions de m³/an.

Source: *Direction Energie, Environment Service Canalisation, Rapport d'activité, 2018, Ville de Luxembourg, p.23*, consultable en ligne: https://www.vdl.lu/sites/default/files/media/document/rapport_dactivites_2018_service_canalisation_def.pdf

1.9 Systèmes séparat et unitaire

Source: *Eaux pluviales, Collecte des eaux pluviales, Wasser, 2020, Portail de l'environnement du Luxembourg*, consultable en ligne: <https://environnement.public.lu/fr/waasser/eaux-usees-pluviales/eaux-pluviales.html>

2. SOURCE DES VALEURS PRÉSENTÉES: CRADLE-TO-CRADLE

Ce scénario implique une des données basées sur une projection de la population en 2050 basée sur l'évolution démographique présentée dans le rapport des services statistiques luxembourgeois (STATEC) et selon leur scénario d'une croissance du PIB de 3%, la population totale du Luxembourg s'élèverait à 985.000 habitants en 2050.

Ce chiffre doit être complété par la population des travailleurs non résidents qui utilisent également le réseau d'eau potable. Selon le même rapport, la population des travailleurs non-résidents est de 181.000 en 2016 et sera de 409.000 en 2060 selon un scénario de croissance du PIB de 3%.

Source: *Rapport de « Projections macroéconomiques et démographiques de long terme: 2017-2060 », Portail des Statistiques du Grand-Duché de Luxembourg, p.48* consultable en ligne: https://statistiques.public.lu/stat/ReportFolders/ReportFolder.aspx?IF_Language=fra&MainTheme=2&FldrName=1

Nous pouvons donc établir l'hypothèse que cette population sera de 357 000 en 2050 suivant cette relation linéaire où (y) = nombre de travailleurs non-résidents et (a) = les nombre d'années, nous avons:

$$(409\ 000y - 181\ 000y) / (2060a - 2016a) = 5\ 181y/a$$

Cette relation nous montre que la population des travailleurs non-résidents augmente linéairement par an de 5181 individus. En 2050 nous aurons donc le nombre actuel de travailleurs de 2016 (=181 000y) complété par ceux des 34 années (a) suivantes:

$$= 181\,000y + (34 \times 5181y) = \mathbf{357\,154y}$$

En conclusion, les quantités d'eau requises pour ce scénario sont basées sur une démographie prévue pour 2050 de 357 000 travailleurs non résidents + 985 000 habitants.

$$= \mathbf{1\,342\,000\ d'usagers\ au\ total\ en\ 2050.}$$

2.1 Eau de pluie

Cf. 1.1

2.2 Eau de pluie utilisable

Dans ce scénario *Cradle-to-cradle*, l'utilisation de la technologie permet d'utiliser l'eau de pluie pour répondre aux besoins en eau douce qui ne nécessitent pas une très grande pureté. Ce scénario propose donc d'intégrer un stockage d'eau de pluie dans chaque logement afin de répondre aux besoins des ménages tels que (a) Chasse d'eau des toilettes (27% de l'eau douce domestique) ; (b) Eau des machines à laver (13% de l'eau douce domestique) ; (c) Eau pour divers usages domestiques (par exemple, arrosage du jardin, lavage de la voiture, etc.) (5% de l'eau douce domestique).

(Source pourcentage: Cf. 1.5)

En détail cela correspond à:

a. L'eau des toilettes

$$= 27\% \text{ de } 150\text{l/jour/usager} = 40,5\text{l} \times 365\text{j} \times 1\,342\,000 \text{ usagers} = \mathbf{19,83 \text{ mio. m}^3/\text{an}}$$

b. L'eau du lave-linge

$$= 13\% \text{ de } 150\text{l/jour/usager} = 19,5\text{l} \times 365\text{j} \times 1\,342\,000 \text{ usagers} = \mathbf{9,55 \text{ mio. m}^3/\text{an}}$$

c. L'eau pour divers usages (jardin, laver voiture,...)

$$= 5\% \text{ de } 150\text{l/jour/usager} = 7,5\text{l} \times 365\text{j} \times 1\,342\,000 \text{ usagers} = \mathbf{3,6 \text{ mio. m}^3/\text{an}}$$

Dans ce scénario du *Cradle-to-cradle*, les quantités d'eau de pluie utilisées par les ménages (a), (b), (c) sont égales :

$$(a) 19,83 \text{ mio.m}^3 + (b) 9,55 \text{ mio.m}^3 + (c) 3,6 \text{ mio.m}^3$$

$$\mathbf{\text{Total} = 32,98 \text{ mio.m}^3/\text{an}}$$

D'autre part, les différents secteurs nationaux (Industrie, Agriculture,...) qui utilisent le réseau d'eau potable et non leurs propres sources seront contraints d'utiliser l'eau de pluie et de recourir aux technologies existantes pour la filtrer en fonction de leurs besoins. Cela correspond à (d) l'Agriculture (7% de l'eau douce nationale) ; (e) les secteurs divers (9% de l'eau douce nationale) ; (f) l'Industrie (14% de l'eau douce nationale).

(Source pourcentage: Cf. 1.5)

En détail cela correspond à:

d. L'eau pour l'agriculture

Selon l'administration de la gestion de l'eau, l'agriculture a deux types d'extraction à l'échelle nationale. Le 1% de ces besoins en eau est émis par des captages privés directement à partir de sources, les 7% restants sont extraits du réseau d'eau potable et sont donc comptabilisés dans nos projections et le dimensionnement des circuits nécessaires.

Source: *Utilisation de l'eau potable, Administration de la gestion de l'eau, 2020, consultable en ligne: https://eau.public.lu/eau_potable/economie_eau_potable/index.html*

Nous avons donc:

$$= 7\% \text{ de } 120\,000\text{m}^3/\text{jour} \text{ qui correspond à la consommation globale du Grand-Duché de Luxembourg} = \mathbf{3 \text{ mio. m}^3/\text{an}}$$

e. L'eau pour secteur divers (non-facturée pour communes services publiques)

Selon la même source, l'utilisation d'eau pour ce secteur correspondent à:

$$= 9\% \text{ de } 120\,000\text{m}^3/\text{jour} = 9\% \text{ de } 43,8 \text{ mio. de m}^3/\text{an} = \mathbf{3,9 \text{ mio. m}^3/\text{an}}$$

f. L'eau pour le secteur de l'Industrie

Toujours selon l'administration de la gestion de l'eau, l'industrie a trois types d'extraction au niveau national. 7 % dans le secteur tertiaire et les petites entreprises ; 9 % dans l'industrie (via le prélèvement direct, c'est-à-dire le prélèvement privé) et 7 % dans l'industrie (eau du réseau, c'est-à-dire l'eau potable).

Dans ce scénario, nous utilisons les 14 % de ces besoins en eau qui sont émis par le réseau public d'eau potable et sont donc comptabilisés dans nos projections et dimensionnons les circuits nécessaires. Nous avons donc :

= 14% de 120 000m³/jour
= 14% de 43,8 mio. de m³/an
= **6 mio. m³/an**

Dans ce scénario de *Cradle-to-cradle*, les quantités d'eaux de pluie utilisées par les secteurs (d), (e) et (f) sont correspondent à:
(d) 3 mio.m³ + (e) 3.9 mio.m³ + (f) 6 mio.m³ = **Total = 13 mio.m³/an**

2.3 Eau de pluie ruissellement

Cette quantité correspond à l'eau de pluie de précipitation annuel diminuée de l'eau de pluie utilisée par les ménages et les secteurs divers pour leurs propres usages.

= 2030 - (32.98 +13) mio.m³/an = **1984 mio. m³/an**

2.4 Eau de pluie utilisable

Cette quantité correspond à l'eau de pluie utilisée par les ménages et les secteurs divers pour leurs propres usages.

= 32.98 +13 mio.m³/an = **45.83 mio.m³/an**

2.5 Eau fraîche barrage

L'origine de l'eau douce suit une tendance basée sur l'utilisation d'une technologie qui minimise les pertes et favorise la réutilisation. Dans le domaine de l'approvisionnement en eau, la vision *Cradle-to-cradle* opte donc pour une extraction d'un tiers des eaux souterraines et de deux tiers des eaux de barrage, dont la logistique est beaucoup plus organisée et contrôlée que celle des eaux souterraines, qui nécessitent de l'énergie pour être extraites.

Les besoins en eau douce sont donc calculés sur la base de la projection démographique à l'horizon 2050 avec 1 342 000 utilisateurs et dans une vision où la récupération permet de maintenir notre consommation actuelle, en utilisant donc les données actuelles de 150l/habitant/jour.

La demande totale d'eau fraîche pour les ménages est de:

150 litre x 365 jour x 1 342 000 habitants = **73,4 mio. m³ pour tout les usagers**

A cela on soustrait les eaux de pluie utilisées par les ménages (cf. 2.2) :

= 73,4 mio. m³ - 32.8 mio. m³ = **40,6 mio. m³**

Dans ce scénario deux-tiers de ces eaux proviennent du barrage:

= 66.6% de 40.6 mio. m³ = **27 mio. m³**

2.6 Eau fraîche de la nappe

Sur base du point 2.5, dans ce scénario un-tiers de ces eaux proviennent de la nappe:

= 33.3% de 40.6 mio. m³ = **13,6 mio. m³**

2.7 Eau fraîche exportée et importée

Cf. 1.3

2.8 Evapotranspiration

Cf. 1.4

2.9 Eau bain

Selon le rapport concernant l'utilisation de l'eau potable par les ménages (Cf. 1.5), l'eau utilisée pour les douches et les bains correspondent à 37 % des 150l/ jour /habitant. Cela correspond donc à:

= 37% de (150l x 365j x 1 342 000 hab) = 37% de 73,4 mio. m³ = **27,15 mio. m³**

2.10 Eau des toilettes

Cf. 2.2 (a)

2.11 Eau lave-linge

Cf. 2.2 (b)

2.12 Eau entreprise

Selon le rapport concernant l'utilisation de l'eau potable par les ménages (Cf. 1.5, source 2), l'eau utilisée pour les entreprises à domicile correspond à 9 % des 150l/jour. Cela correspond donc à :

$$= 9\% \text{ de } (150l \times 365j \times 1\,342\,000 \text{ hab}) = 9\% \text{ de } 73,4 \text{ mio. m}^3 = \mathbf{6,6 \text{ mio. m}^3}$$

2.13 Eau vaisselle

Selon le rapport sur l'utilisation de l'eau potable par les ménages (Cf. 1.5, source 2), l'eau utilisée pour le lavage de la vaisselle à la maison correspond à 6% des 150l/jour. Cela correspond donc à :

$$= 6\% \text{ de } (150l \times 365j \times 1\,342\,000 \text{ hab}) = 6\% \text{ de } 73,4 \text{ mio. m}^3 = \mathbf{4,4 \text{ mio. m}^3}$$

2.14 Eau ménages diverse (Jardin, laver voiture)

Selon le rapport sur l'utilisation de l'eau potable par les ménages (Cf. 1.5, source 2), l'eau utilisée pour diverses activités domestiques (arrosage du jardin, lavage de la voiture, etc.) correspond à 5% des 150l/hab/jour.

Cela correspond donc à :

$$= 5\% \text{ de } (150l \times 365j \times 1\,342\,000 \text{ hab}) = 5\% \text{ de } 73,4 \text{ mio. m}^3 = \mathbf{3,6 \text{ mio. m}^3}$$

2.15 Eau boisson et repas

Selon le rapport sur l'utilisation de l'eau potable par les ménages (voir 1.5, source 2), l'eau utilisée pour les repas et la boisson correspond à 4 % des 150l/hab/jour. Cela correspond donc à :

$$= 4\% \text{ de } (150l \times 365j \times 1\,342\,000 \text{ hab}) = 4\% \text{ de } 73,4 \text{ mio. m}^3 = \mathbf{2,9 \text{ mio. m}^3}$$

2.16 Agriculture

Cf. 2.2 (d)

2.17 Secteurs divers

Cf. 2.2 (e)

2.18 Industrie

Cf. 2.2 (f)

2.19 Eau pluie infiltration directe

Cette quantité correspond à l'eau de pluie qui s'infiltre directement dans le sol via des zones perméables. Elle correspond donc à la quantité d'eau de pluie qui s'écoule (cf. 2.3) moins l'eau qui s'évapore par évapotranspiration (cf. 2.8). Nous avons donc :

$$= 1984,17 \text{ mio.m}^3 - 1124,9 \text{ mio.m}^3 = \mathbf{859,27 \text{ mio.m}^3}$$

2.20 Eau totale dans réseau de traitement

Ce montant correspond à la totalité des eaux usées qui sont acheminées vers les réseaux d'égouts municipaux.

Dans ce scénario *Cradle-to-cradle*, les égouts sont complètement séparés (aujourd'hui, ils ne sont séparés que de 5 %), ce qui signifie qu'ils ont un réseau différent pour les eaux de pluie qui s'infiltrent directement dans le réseau d'égouts et les eaux usées des ménages et d'autres secteurs (industrie, agriculture, etc.).

Source: *Eaux pluviales, Administration de la gestion de l'eau du Luxembourg, 2020, Consultable en ligne: <https://environnement.public.lu/fr/waasser/eaux-usees-pluviales/eaux-pluviales.html>*

Cette quantité d'eau correspond aux eaux usées des différents secteurs et on y ajoute les eaux usées domestiques (Cf. 2.2) :

$$= 13 \text{ mio.m}^3/\text{an} + 73,4 \text{ mio. m}^3/\text{an} = \mathbf{86,4 \text{ mio.m}^3/\text{an}}$$

3. SOURCE DES VALEURS PRÉSENTÉES: DE-GROWTH

Source: *Traitement des eaux usées, Administration de la gestion de l'eau du Luxembourg, 2020, Consultable en ligne: https://environnement.public.lu/fr/waasser/eaux-usees-pluviales/traitement/traitement_des_eaux_usees.html*

3.1 Eau de pluie

Cf. 1.1

3.2 Eau de pluie utilisable

Dans ce scénario de *De-growth*, les mesures du scénario *Cradle-to-cradle* concernant la collecte des eaux de pluie par habitat sont renforcées. Ainsi, chaque habitat doit utiliser l'eau de pluie avec les filtres nécessaires pour toute activité qui ne nécessite pas un très haut degré de pureté. Ce scénario propose donc d'intégrer dans chaque habitation un stockage d'eau de pluie afin de répondre aux besoins des ménages tels que : (a) Douche/bain (37% de 130l/jour/habitant) ; (b) Chasse d'eau des toilettes (27% de 130l/jour/habitant) ; (c) Eau de la machine à laver (13% de 130l/jour/habitant) ; (d) Eau pour divers usages domestiques (par exemple, arrosage du jardin, lavage de la voiture, etc.) (5% de 130l/jour/habitant).
(Source pourcentage: Cf. 1.5)

En détail cela correspond à:

- a. L' eau de la douche/du bain
= 37% de 130l/jour/usager = 48,1 l/jour/usager = 48,11 x 365j x 1 342 000 usagers = **23,5 mio.m3 / an**
- b. L' eau des toilettes
= 27% de 130l/jour/usager = 31,5 l/jour/usager = 31,5 l x 365j x 1 342 000 usagers = **15,4 mio.m3 / an**
- c. L' eau du lave-linge
= 13% de 130l/jour/usager = 16,9 l/jour/usager = 16,9 l x 365j x 1 342 000 usagers = **8,2 mio.m3 / an**
- d. L' eau usage divers ménager
= 5% de 130l/jour/usager = 6,5 l/jour/usager = 6,5 l x 365j x 1 342 000 usagers = **3,1 mio.m3 / an**

Dans ce scénario de *De-growth*, les quantités d'eaux de pluie utilisées par les ménages (a), (b), (c) et (d) correspondent à:

$$(a) \quad 23,5 \text{ mio.m}^3 + (b) 15,4 \text{ mio.m}^3 + (c) 8,2 \text{ mio.m}^3 + (d) 3,1 \text{ mio.m}^3 = \text{Total} = \mathbf{50,2 \text{ mio.m}^3/\text{an}}$$

D'autre part, les différents Secteurs nationaux (Industrie, Agriculture,...) qui utilisent le réseau d'eau potable et non leurs propres sources pourront continuer à utiliser les mêmes quantités mais devront, comme dans le scénario 2, être contraints d'utiliser l'eau de pluie et d'utiliser les technologies existantes pour la filtrer en fonction de leurs besoins. Cela correspond à (d) l'agriculture (7 % de l'eau douce nationale) ; (e) des secteurs divers (9 % de l'eau douce nationale) ; (f) l'industrie (14 % de l'eau douce nationale).

(Source pourcentage: Cf. 1.5, détail des chiffres Cf. 2.2)

Total = 13 mio.m3/an

3.3 Eau de pluie ruissellement

Cette quantité correspond à l'eau de pluie de précipitation annuel diminuée de l'eau de pluie utilisée par les ménages et les secteurs divers pour leurs propres usages.

$$= 2030 - (50,2 + 13) \text{ mio.m}^3/\text{an} = \mathbf{1966,8 \text{ mio. m}^3/\text{an}}$$

3.4 Eau de pluie utilisable

Cette quantité correspond à l'eau de pluie utilisée par les ménages et les secteurs divers pour leurs propres usages.

$$= 50,2 + 13 \text{ mio.m}^3/\text{an} = \mathbf{63,2 \text{ mio.m}^3/\text{an}}$$

3.5 Eau fraîche barrage

Dans ce scénario de *De-growth*, l'eau fraîche extraite proviendra exclusivement des nappes.

3.6 Eau fraîche de la nappe

La recharge de ces aquifères sera possible grâce à une consommation réduite de 130l/capita/jour et renforcée par la présence de barrages lagunaires avec filtrage naturel, ce qui permettra de recharger ces aquifères plus régulièrement, tout en respectant leurs écosystèmes.

La demande totale d'eau fraîche ménagère est de:

$$130 \text{ litre} \times 365 \text{ jour} \times 1 \, 342 \, 000 \text{ habitants} = \mathbf{63,6 \text{ mio. m}^3 \text{ pour tous les usagers}}$$

A cela on soustrait les eaux de pluie utilisés par les ménages (cf. 3.2) :

$$= 63,6 \text{ mio. m}^3 - 50,2 \text{ mio. m}^3$$

Total de l'eau extraite des nappes = 13,4 mio. m3 / an

3.7 Eau fraîche exportée et importée

Cf. 1.3

3.8 Evapotranspiration

Cf. 1.4

3.9 Eau bain

Cf. 3.2 (a)

3.10 Eau des toilettes

Cf. 3.2 (b)

3.11 Eau lave-linge

Cf. 2.2 (c)

3.12 Eau entreprise

Selon le rapport concernant l'utilisation de l'eau potable par les ménages (Cf. 1.5, source 2), l'eau utilisée pour les entreprises à domicile correspond à 9% des 150l/hab/jour. Dans ce scénario de *de-growth*, cette valeur devra aussi réduire sa consommation à 9% 130l/hab/ jour, cela correspond donc à :

$$= 9\% \text{ de } (130l \times 365j \times 1\,342\,000 \text{ hab}) = 9\% \text{ de } 63.67 \text{ mio. m}^3 = \mathbf{5,7 \text{ mio. m}^3}$$

3.13 Eau vaisselle

Selon le rapport sur l'utilisation de l'eau potable par les ménages (cf. 1.5, source2), l'eau utilisée pour le lavage de la vaisselle à la maison correspond à 6% des 150l/hab/jour. Dans ce scénario de *De-growth*, cette valeur devra également être ramenée à 6% des 130l/hab/jour, ce qui correspond à :

$$= 6\% \text{ de } (130l \times 365j \times 1\,342\,000 \text{ hab}) = 6\% \text{ de } 63.67 \text{ mio. m}^3 = \mathbf{3,8 \text{ mio. m}^3}$$

3.14 Eau ménages diverse (Jardin, laver voiture)

Selon le rapport sur l'utilisation de l'eau potable par les ménages (voir 1.5, source2), l'eau utilisée pour diverses activités domestiques (arrosage du jardin, lavage de la voiture, etc.) correspond à 5 % des 150l/hab/jour.

ce qui correspond à :

$$= 5\% \text{ de } (130l \times 365j \times 1\,342\,000 \text{ hab}) = 5\% \text{ de } 63.67 \text{ mio. m}^3 = \mathbf{3,18 \text{ mio. m}^3}$$

3.15 Eau boisson et repas

Selon le rapport concernant l'utilisation de l'eau potable par les ménages (Cf. 1.5, source2), l'eau utilisée pour les repas et la boisson correspond à 4% des 150l/hab/jour. Dans ce scénario de *De-growth*, cette valeur devra aussi réduire sa consommation à 5% 130l/hab/jour, cela correspond donc à :

$$= 4\% \text{ de } (130l \times 365j \times 1\,342\,000 \text{ hab}) = 4\% \text{ de } 63.67 \text{ mio. m}^3 = \mathbf{2,5 \text{ mio. m}^3}$$

3.16 Agriculture

Cf. 2.2 (d)

3.17 Secteurs divers

Cf. 2.2 (e)

3.18 Industrie

Cf. 2.2 (f)

3.19 Eau pluie infiltration directe

Cette quantité correspond à l'eau de pluie qui s'infiltré directement dans le sol via des zones perméables. Elle correspond donc à la quantité d'eau de pluie qui s'écoule (Cf. 3.3) moins l'eau qui s'évapore par évapotranspiration (cf. 3.8). Nous avons donc

$$= 1966,8 \text{ mio.m}^3 - 1124,9 \text{ mio.m}^3 = \mathbf{841,9 \text{ mio.m}^3}$$

3.20 Eau totale dans réseau de traitement

Dans ce scénario de décroissance, l'utilisation des réseaux d'égouts sera principalement limitée aux eaux de pluie qui s'écoulent des réseaux routiers. Cette limitation de l'utilisation des égouts nécessitera l'installation de bassins en bordure de route pour filtrer ces eaux ainsi que des systèmes de lagunes naturelles (barrages) par quartier ou village qui filtreront naturellement les eaux grises ainsi que les eaux noires après leur passage dans les bassins de décantation. Les processus de filtrage naturel font déjà partie des processus de traitement des eaux usées existant au Luxembourg et actuellement mis en œuvre pour les régions les plus autonomes.

La totalité des eaux usées sera donc infiltrée dans la phase finale du cycle de l'eau du scénario de décroissance. Cette infiltration n'aura lieu que lorsque les eaux usées seront effectivement traitées et permettra de recharger la nappe phréatique qui deviendra la principale source d'approvisionnement en eau douce.

Cette quantité d'eau correspond aux eaux usées des secteurs divers auxquelles nous ajoutons les eaux usées issues des ménages (Cf. 3.2), nous avons donc:

$$= 13 \text{ mio.m}^3/\text{an} + 63,2 \text{ mio. m}^3/\text{an}$$

$$= \mathbf{76,2 \text{ mio.m}^3/\text{an}}$$

4. SOURCE DES VALEURS PRÉSENTÉES: DEEP ECOLOGY

Ce scénario comme les précédent se base sur les données démographique basée sur une population d'usagers projetée à 2050 de 1 342 000 usagers (Cf. 2).

Source: *Traitement des eaux usées, Administration de la gestion de l'eau du Luxembourg, 2020, Consultable en ligne: https://environnement.public.lu/fr/waasser/eaux-usees-pluviales/traitement/traitement_des_eaux_usees.html*

4.1 Eau de pluie

Cf. 1.1

4.2 Eau de pluie utilisable

La *Deep Ecology* implique une réduction de consommation des usagers au minimum vital. Ce scénario implique donc que les consommations d'eau fraîche extraite est limitée au strict besoin nécessaire, et donc à 20 l/jour/ usager. La World Health Organisation mentionne que le strict minimum est 15l, nous y ajoutons 5l de sécurité.

Source: *Domestic Water Quantity, Service Level and Health, World Health Organisation, 2020, consultable en ligne: <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/water-sanitation-and-health/environmental-health-in-emergencies/humanitarian-emergencies>*

L'approche de *Deep Ecology* consiste également à utiliser les ressources en eau de pluie de manière responsable et à changer nos habitudes pour des activités qui n'ont pas vraiment besoin d'eau. À cet égard, l'utilisation d'eau pour les toilettes (27 % de l'utilisation actuelle d'eau douce domestique) est remplacée par des toilettes sèches. En outre, l'utilisation d'eau douce pour des activités «diverses» (arrosage du jardin, lavage de la voiture, etc.) n'est plus autorisée. Le reste des activités ménagères et les différents secteurs (agriculture, industrie, etc.) sont tous réalisés avec de l'eau de pluie et voient leur pourcentage global d'utilisation réduit à (120l/hab/jour).

En détail cela correspond à:

a. L' eau de la douche/du bain

$$= 37\% \text{ de } 120\text{l/jour/usager} = 44,4 \text{ l/jour/usager} = 48,11 \times 365 \text{ j} \times 1 \text{ 342 000 usagers} = \mathbf{21,7 \text{ mio.m}^3 / \text{an}}$$

b. L' eau des toilettes

$$= \mathbf{0}$$

c. L' eau du lave-linge

$$= 13\% \text{ de } 120\text{l/jour/usager} = 15,6 \text{ l/jour/usager} = 15,6 \text{ l} \times 365 \text{ j} \times 1 \text{ 342 000 usagers} = \mathbf{7,6 \text{ mio.m}^3 / \text{an}}$$

a. L' eau usage divers ménager

$$= \mathbf{0}$$

b. L' eau utilisée pour les entreprise à domiciles

$$= 9\% \text{ de } 120\text{l/jour/usager} = 10,8 \text{ l/jour/usager} = 10,8 \text{ l} \times 365 \text{ j} \times 1 \text{ 342 000 usagers} = \mathbf{5,2 \text{ mio. m}^3}$$

c. L' eau de vaisselle

= 6% de 120l/jour/usager = 7,2l /jour/usager = 7,2l x 365j x 1 342 000 usagers = **3,5 mio. m3**

Dans ce scénario de *Deep Ecology*, les quantités d'eau de pluie utilisées par les ménages (a), (b), (c), (d), (e) et (f) correspondent à:

(a) 21,7 mio.m3 + (b) 0 mio.m3 + (c) 7,6 mio.m3 + (d) 0 mio.m3 + (e) 5,2 mio. m3 + (f) 3,5 mio. m3

Total = 38 mio.m3/an

D'autre part, les différents secteurs nationaux (Industrie, Agriculture,...) qui utilisent le réseau d'eau potable et non leurs propres sources pourront continuer à utiliser les mêmes quantités mais seront, comme dans le scénario précédent, contraints d'utiliser l'eau de pluie et d'utiliser les technologies existantes pour la filtrer en fonction de leurs besoins. Cela correspond à (d) l'agriculture (7 % de l'eau douce nationale) ; (e) des secteurs divers (9 % de l'eau douce nationale) ; (f) l'industrie (14 % de l'eau douce nationale).

(Source pourcentage: Cf. 1.5, détail des chiffres Cf. 2.2)

Total = 13 mio.m3/an

4.3 Eau de pluie ruissellement

Cette quantité correspond à l'eau de pluie de précipitation annuel diminuée de l'eau de pluie utilisée par les ménages et les secteurs divers pour leurs propres usages:

= 2030 - (38 + 13) mio.m3/an = **1979 mio. m3/an**

4.4 Eau de pluie utilisable

Cette quantité correspond à l'eau de pluie utilisée par les ménages et les secteurs divers pour leurs propres usages:

= 38 + 13 mio.m3/an = **51 mio.m3/an**

4.5 Eau fraîche barrage

Dans ce scénario *Deep Ecology*, l'eau douce extraite est exclusivement destinée à la consommation et provient exclusivement des eaux de surface.

Cette eau provenant des barrages et des rivières sera possible grâce à une consommation réduite aux besoins vitaux de 20l/hab/jour et renforcée par la présence de barrages lagunaires avec filtrage naturel qui permettront de recharger ces aquifères plus régulièrement et dans le respect des autres écosystèmes de la Terre.

La demande d'eau fraîche extraite des barrages et des rivières est donc:

20 litre x 365 jour x 1 342 000 habitants

= **9,79 mio. m3 pour tous les usagers**

4.6 Eau fraîche de la nappe

Dans ce scénario *Deep Ecology*, l'eau fraîche extraite proviendra exclusivement des eaux de surfaces.

= **0.**

4.7 Eau fraîche exportée et importée Cf. 1.3

4.8 Evapotranspiration Cf. 1.4

4.9 Eau bain Cf. 4.2 (a)

4.10 Eau des toilettes Cf. 4.2 (b)

4.11 Eau lave-linge Cf. 4.2 (c)

4.12 Eau entreprise Cf. 4.2 (d)

4.13 Eau vaisselle Cf. 4.2 (e)

4.14 Eau ménages diverse (Jardin, laver voiture)

= 0

4.15 Eau boisson et repas Cf. 4.5

4.16 Agriculture Cf. 2.2 (d)

4.17 Secteurs divers Cf. 2.2 (e)

4.18 Industrie Cf. 2.2 (f)

4.19 Eau pluie infiltration directe

Cette quantité correspond à l'eau de pluie qui s'infiltré directement dans le sol via les zones perméables. Cela correspond donc à la quantité d'eau de pluie qui ruisselle (cf. 4.3) diminuée des eaux qui s'évaporent par évapotranspiration (cf. 34.8). Nous avons donc:

= 1979 mio.m³ - 1124,9 mio.m³

= **854,1 mio.m³**

4.20 Eau totale dans réseau de traitement

Dans ce scénario *Deep Ecology*, comme dans le cas de la décroissance, l'utilisation des réseaux d'égouts sera essentiellement limitée aux eaux de pluie qui s'écoulent des réseaux routiers. Cette limitation de l'utilisation des égouts nécessitera l'installation de bassins routiers pour filtrer ces eaux routières ainsi que des systèmes de lagunes naturelles (barrages) par district ou village qui filtreront naturellement les eaux grises ainsi que les eaux noires après leur passage dans les bassins de décantation. Les processus de filtrage naturel font déjà partie des processus de traitement des eaux usées existant au Luxembourg et actuellement mis en œuvre pour les régions les plus autonomes.

La totalité des eaux usées sera donc infiltrée dans la phase finale du cycle de l'eau du scénario *Deep Ecology*. Cette infiltration n'aura lieu que lorsque les eaux usées seront effectivement traitées et permettra de recharger les aquifères qui deviennent les principales sources d'approvisionnement en eau douce.

Cette quantité d'eau correspond à l'eau d'infiltration secondaire qui est composée d'eau traitée provenant de divers secteurs ainsi que des ménages (cf. 4.2) :

= 13 mio.m³ + 9,79mio.m³ + 38 mio.m³

= **60,79 mio.m³/an**

Une vision pour le Luxembourg - Europe, Terre

méthodologie

Méthodologie pour la construction des courbes de réduction des émissions GES

1. Composition des courbes historiques

1.1. Base de données de l'IPCC relative au Luxembourg entre 1990-2018

Les données relatives aux émissions de GES du Luxembourg ont été téléchargées sur le site de la UNFCCC (Convention-cadre des Nations unies sur le changement climatique), où chaque année, tous les pays membres sont invités à soumettre leurs données d'émissions. Le site contient l'inventaire des émissions historiques depuis 1990.

Source : <https://unfccc.int/documents/228020>

Selon les catégories élaborées par le IPCC (Intergovernmental Panel on climate Change), les émissions peuvent être réparties selon sept thèmes :

1. Energie	Relatif aux émissions provenant de la combustion dans les secteurs des « industries de l'énergie », « industrie de produits et construction », « transports » et « autres secteurs » (réchauffement des bâtiments, répartis en « tertiaires, résidentiels et primaires »), ainsi que pour les « émissions fugitives ». Dans cette catégorie une valeur d'absorption possible mécanique est incluse (CO2 transport and stockage), mais cette valeur est de zéro.
2. Process industriel	Comprend les émissions des processus de transformation industrielle (chimique, métaux, minéraux, etc.).
3. Agriculture	La catégorie comprend les procès agricoles aussi que les processus d'élevages. La sous-catégorie la plus impactant est la « fermentation entérique », c.à.d. les émissions de méthane des bovins élevés.
4. LULUCF	« Utilisation du sol, changement de l'utilisation du sol et forêts » (Land use, land use change and forestry) est la seule valeur positive et représente la quantité d'absorption sur un territoire. La plupart de sa composition est donnée par les « forêts », où, en effet, la séquestration de CO2 est majeure.
5. Déchets	Représente les émissions dues aux procès chimiques de l'enfouissement et/ou élaboration des déchets.
6. Autres	Cette catégorie a été ajoutée mais reste vide (mis à part l'eau)
M. IB Aviation	Représente les émissions de l'aviation commerciale et civile (fret et passagers).

En particulier, il a été utile de trouver les fichiers avec les données spécifiques pour chaque année divisée selon les catégories proposées par le IPCC depuis le début des mesures en 1990. Ces tableaux détaillés contiennent les émissions pour chaque sous-catégorie de l'« énergie », la catégorie plus polluante.

1.2. Recomposition des données selon les 8 catégories

voir : Feuille 1. Catégories

Si pour les catégories 2,4,5 et 6, les valeurs par secteurs ont été prises dans leur totalité, pour le secteur « Énergie », en raison de sa prédominance dans la composition des courbes des émissions totales et du fait que l'Union Européenne utilise des catégories plus nuancées dans ses projections, il a été nécessaire de désagréger les données et former 8 nouvelles catégories. Donc la partie relative à « Industries de l'énergie » compose la catégorie Énergie et indique les émissions des centrales de production d'énergie électrique (thermoélectrique, etc.) La partie « industrie de produits et construction » compose avec « processus industriel » la nouvelle catégorie Industrie et regroupe soit les émissions liées à la combustion soit celles liées au processus de transformation de la matière. Le secteur « transport » a été désagrégué ultérieurement dans Transport routier (qui compose une catégorie séparée en raison de sa prévalence (environ 99%) alors que « Chemin de fer », « aviation domestique » et « navigation domestique » sont ajoutées dans la catégorie Autres. Finalement « Autres secteurs » comprend les émissions liées à la combustion pour le chauffage des bâtiments (résidentiel, commerciaux et institutionnels) et pour les opérations du secteur primaire (agriculture, pêche, foresterie). Le Résidentiel compose une catégorie séparée, le « commercial/institutionnel » compose le Tertiaire et le secteur primaire est agrégé à « 3. Agriculture » pour former Agriculture. Toutes les autres catégories composent Autres.

Catégorie	Transformation	Nouvelle catégories
1. Énergie	Les secteur « industries de l'énergie », « Transport » et « Autres secteurs » ont été désagrégué pour composer respectivement « Énergie », « transport routier » et « Autres » (avec « chemin de fer », « Aviation domestique » et « Navigation domestique »), « Tertiaire » et « Résidentiel ». « Emissions fugitives » compose « Autres ».	A. énergie = 1.A.1 industries de l'énergie C. Road transport = 1.A.3.b Road transport D. Tertiary = 1.A.4 a Commercial/institutional E. Residential = 1.A.4 b Residential
2. Processus industriel	Ajouté à « industrie de produits et construction » pour composer « Industrie »	B. Industrie = 1.A.2 industrie de produits et construction + 2. Processus industriel
3. Agriculture	Avec « Agriculture/forêt/pêche » composent « Agriculture »	F. Agriculture = 1.A.4.c Agriculture/forestry/fishing + 3 Agriculture
4. LULUCF	Pas changé	H. LULUCF = 4 LULUCF
5. Waste	Compose « Other »	G. Other = 6 Other + 5 Waste + 1.A.5 Other + 1.B Fugitive emissions from fuel + 1.A.3.a Domestic aviation + 1.A.3.b Railways + 1.A.3.d Domestic navigation
6. Other	Compose « Other »	
M. IB Aviation	Pas changé	MIB Aviation

1.3. Compléter l'année 2019 avec les projections de la EEA

Si l'« Inventaire » contient les émissions jusqu'au 2018, pour l'année 2019, il a été nécessaire de récupérer les projections, c'est-à-dire une première version des calculs, non révisée ni confirmée.

Source: https://cdr.eionet.europa.eu/lu/eu/mmr/art08_proxy/envxyjjbg/

En raison de l'exceptionnalité de l'année 2020, qui a vu ses émissions chuter à cause du confinement imposé par le gouvernement du Luxembourg pour contenir la pandémie de Sars-CoV-2, les valeurs de référence pour montrer les émissions actuelles utilisées dans le présent rapport sont celles de 2019.

1.3. Composition des courbes historiques

voir : Feuille 2. 1990-2019, inventory

Feuille 3a-3b. 1990-2040, inventory and projections

La base de données relative aux émissions historique du Luxembourg compose le premier graphe. Si les émissions compressives en 1990 dépassaient le 13.000 ktCO₂e, la progressive dés-industrialisation du Luxembourg (notamment par la fermeture des grandes industries sidérurgiques) a causé une forte réduction qui atteint un minimum en 1998. A partir de cette date une

nouvelle hausse des émissions globale est attribuée au secteur Transport routier, due à la forte attractivité du Grand-Duché des travailleurs français, belges et allemands qui se déplacent principalement en voiture. Pour ce qui concerne la catégorie Énergie une petite crête est visible entre 2001 et 2016, dates d'ouverture et fermeture de la centrale à gaz de Esch-sur-Alzette. Pour ce qui concerne les catégories Agriculture, Résidentiel et Tertiaire, on peut remarquer une légère croissance du deuxième et troisième. Si en 1990, les trois partageaient plus au moins la même partie des émissions, en 2019 le Résidentiel prévaut sur les autres, probablement en raison de l'augmentation démographique au sein du Grand-Duché.

2. Interprétation des projections

2.1. Projections de l'EEA

voir : Feuille 4. EEA projection

La EEA met à disposition des projections des émissions sur son site internet pour chaque pays membre de l'Union Européen, déjà divisé selon les catégories de l'IPCC et selon deux différents scénarios : WEM (with existing measures, c.à.d. sans adopter des politiques de réduction) et WAM (with additional measures, c.à.d. avec des politiques de réduction des émissions, lesquelles implémentées avec succès). Malgré la précision avec laquelle les scénarios sont traduits en chiffres, il ne s'agit que de prévisions basées sur les hypothèses des Politiques and mesures (PaM) que chaque pays pense adopter. Donc dans le scénario WEM, on remarque une situation presque inaltérée entre 2015 et 2050, avec la catégorie « Énergie » encore prédominante qui émet plus ou moins 9000 ktCO_{2e} par an et les autres qui contribuent de manière moindre, avec le déclin de la partie « Processus industriel ».

Dans le scénario WAM par contre, à partir de 2018 quand les projections commencent, la partie « Énergie » se réduit d'un tiers jusqu'à 2040, quand les prévisions s'arrêtent. Si on constate donc une allure décroissante dans le WAM pour ce qui concerne le Grand-Duché, il est intéressant de remarquer que les émissions liées à l'aviation internationale restent inaltérées dans les deux scénarios. Cela signifie qu'aucune politique a été mise en place pour baisser les externalisations négatives et avoir des bénéfices en dehors du territoire du Luxembourg.

Les projections de l'EEA s'arrêtent en 2040, mais pour pouvoir comparer les courbes avec celle de la mission Luxembourg in Transition, il a été nécessaire de les prolonger jusqu'à l'horizon 2050, en suivant les tendances des dernières années. Ce faisant, on voit que la seule différence remarquable est que dans les WEM la partie « Énergie » monte légèrement alors que dans le WAM, elle baisse énormément jusqu'à moins de 1000 ktCO_{2e} en 2050.

Source: https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/greenhouse-gas-emission-projections-for-7/2020-ghg-projections-reported-and/ghg_projections_2020_xlsx-including-pivot-chart/view

2.2. Projection du Biennial Report 4

voir : Feuille 5. BR4

Le « Fourth Biennial Report of Luxembourg under the United Nations Framework Convention on Climate Change » (BR4) est un rapport soumis à l'UNFCCC par le ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable du Grand-Duché du Luxembourg, daté du 23 Novembre 2020. Il fait partie d'une série de documents qui décrivent la situation du pays par rapport aux émissions GES, aux ambitions pour les réduire et aux opérations implémentées ou prévues pour atteindre l'objectif.

Ce document composé de plus de 300 pages, est articulé en 5 chapitres: dans le premier une description générale du contexte a pour but de cadrer les spécificités du Luxembourg ; dans le deuxième chapitre, les objectifs de réduction sont explicités ; le troisième chapitre explore les mesures mises en place ou à adopter pour atteindre l'objectif ; le quatrième montre les prévisions de réduction de GES selon des modèles de simulation (qui par contre font des hypothèses pas forcément liées aux politiques sur-mentionnées) ; le cinquième et dernier chapitre investigate les moyens fiscaux et financiers pour soutenir les actions.

Pour ce qui intéresse la présente mission, le chapitre considéré est le quatrième, où un ensemble de « modèles » compose les trajectoires des émissions jusqu'en 2040. Il s'agit de la coopération entre différents systèmes de simulation :

- ISI-DELUX pour la demande d'énergie élaborée par un "Consortium" de centres de recherche : Consentec GmbH, Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (Fh-ISI), Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien (IREES) et Energy Economics Group Technische Universität Wien (EEG).
- le GEORG et NEMO models utilisé par Komobile et FVT (Forschungsgesellschaft für Verbrennungskraft-maschinen und Thermodynamik) et développé en collaboration avec Technische Universität Graz (TU Graz);
- le POTEnCIA développé par le European Commission Joint Research Centre.

Il est important de clarifier ce qui est plusieurs fois répété dans le document : les hypothèses de ce modèle ne correspondent pas aux politiques décrites dans la troisième partie (chapitre 3). Donc il n'y a pas de relation directe avec les actions réelles. Le modèle a travaillé de façon autonome avec ses propres dynamiques de calcul, sans considérer ce qui a déjà été mis en place. Néanmoins la valeur de ce modèle est qu'il permet de quantifier l'impact de certaines actions/hypothèses et donc de traduire les politiques en chiffres. Pour cela, il sera considéré comme base pour étudier la réduction des émissions selon les visions proposées dans cet étude (Cradle-to-Cradle, Degrowth, Deep ecology).

Un deuxième avantage de ce modèle est qu'il divise les émissions exactement comme nous les avons divisées en suivant les indications de l'Union Européenne. Cela signifie que la catégorie Energie a été désagrégée pour construire les 8 catégories comme décrites au point 1.2. Cela permet de comparer les actions déjà groupées selon les nouvelles catégories.

2.3 Prolongation des projections jusqu'en 2050

Le BR4 propose des projections jusqu'en 2040, mais la présente étude vise l'horizon 2050. Pour cela les projections ont été prolongées de 10 ans de façon qualitative, en suivant la tendance des dernières années. Soit pour le scénario WEM, soit pour le scénario WAM, les pourcentages de réduction des dernières années (2035-2040) ont été calculées et appliquées aux valeurs de 2045 et 2050.

2.4. Calcul du Potential of emission reduction (PEC) potentiel de réduction des émissions

voir : Feuilles 6. EEA - WEM / EEA - WAM / EEA - PEC

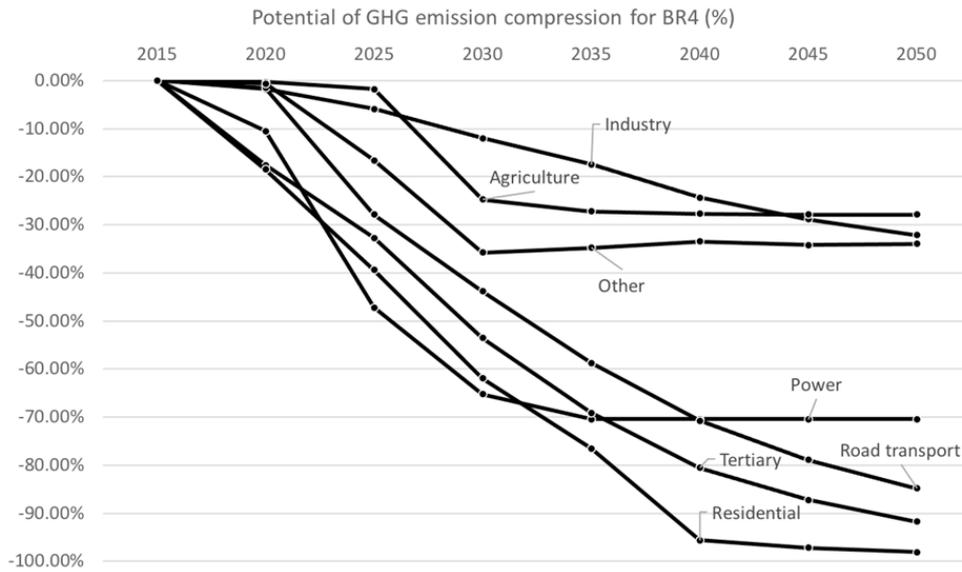
Le BR4 représente la base pour traduire les actions en chiffres. La compréhension correcte des données passe à travers leur manipulation pour construire une lecture située et comparable qui nuance les 8 catégories. Les opérations pour interpréter le modèle sont les suivantes :

- Calcul de la différence entre WAM et WEM : comme on le voit dans les graphes, généralement il y a une divergence entre WAM et WEM, puisque le premier inclut les politiques pour baisser les émissions. Calculer la différence entre les deux permet de quantifier l'impact des mesures selon les catégories et dans le temps.
- Division de la différence entre WAM et WEM par les WEM : cela permet de calculer le pourcentage de réduction par rapport à la valeur de référence si les politiques n'avaient pas été implémentées. Ces valeurs, qui n'ont plus d'unité de mesure, puisqu'en pourcentage, montrent le potentiel de réduction dans le temps de chacune des 8 catégories, suivant les politiques and mesures.

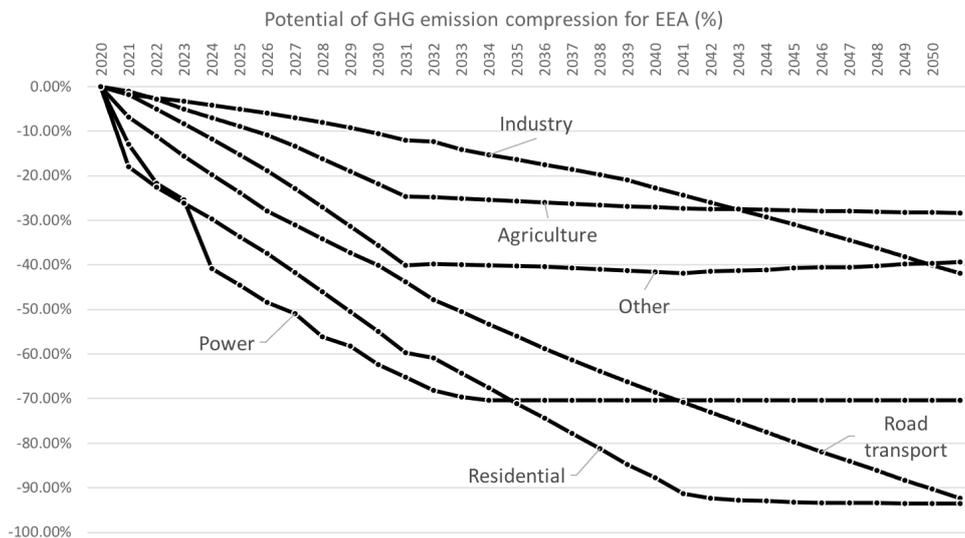
$$PEC = \frac{WAM - WEM}{WEM} = \%$$

	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Power	0.00%	-10.56%	-47.19%	-65.25%	-70.43%	-70.43%	-70.43%	-70.43%
Industry	0.00%	-1.82%	-5.90%	-11.98%	-17.44%	-24.32%	-28.85%	-32.15%
Road transport	0.00%	-1.56%	-27.89%	-43.83%	-58.77%	-70.76%	-78.93%	-84.86%
Tertiary	0.00%	-17.60%	-32.76%	-53.59%	-69.14%	-80.58%	-87.21%	-91.73%
Residential	0.00%	-18.48%	-39.45%	-61.94%	-76.54%	-95.60%	-97.18%	-98.08%
Agriculture	0.00%	-0.30%	-1.79%	-24.76%	-27.21%	-27.76%	-27.88%	-27.89%
Other	0.00%	-0.63%	-16.60%	-35.76%	-34.79%	-33.50%	-34.23%	-33.94%

• Construction du graph : les valeurs obtenues des opérations précédentes composent le tableau du Potential of emission compression (PEC), qui mis dans un graph linéaire donne le visuel suivant.



• Pour confirmer la validité de cette approche, nous avons comparé la vraisemblance de ce graph du PEC (dont les données sont prises du BR4) avec le graph du PEC (avec les projections de l'EEA). Même avec une source différente, l'allure des courbes est comparable, avec Agriculture, Autres et Industrie réduits d'environ 30-40% et Transport routier, Résidentiel, Energie qui rejoignent un pourcentage plus élevé. Malgré qu'il soit similaire, ce deuxième graph a été écarté pour la suite de la recherche parce qu'il manque une description des actions et une distinction entre le Résidentiel et Tertiaire.



2.4. Lecture du graph PEC

Le graph du Potential of emission compression permet de comprendre de combien les émissions selon les 8 catégories ont été réduites dans le temps. La courbes du BR4 sera décrite et employée puisque, bien que moins nuancée dans les années (les valeurs reportées sont tous le 5 ans), elle arrive à associer des actions aux chiffres et divise Résidentiel et Tertiaire alors que le EEA ne désagrège pas « Autres secteurs » dans les 3 sous-catégories.

Si l'on analyse l'allures des courbes, on remarque d'abord qu'il y a deux groupes de catégories : Agriculture, Industrie et Autres restent en haut, autour d'une réduction en 2050 d'environ 30% alors que Energie, Transport routier, Résidentiel et Tertiaire arrivent à être réduites de plus de 70%. Cela peut indiquer que les hypothèses faites par le modèle ne prennent pas en considération un changement radical de la production industrielle, du type et quantité d'agriculture et de la gestion des déchets. La plupart des réductions sont en effet attribuées à l'emploi de la biomasse pour la production énergétique centralisée (Energie) et de l'efficacité énergétique du bâti (Résidentiel et Tertiaire) aussi pour la constante diminution du trafic routier (Transport routier)

La catégorie Energie voit une réduction de ses émissions assez rapide, à l'horizon des 10 premiers ans, pour après se stabiliser autour de -70%. Cela probablement parce que le système de production énergétique envisagé consiste en des centrales à biomasse qui, malgré leur définition durable, ne peuvent pas annuler les émissions, à cause de la nature même de la combustion qu'ils engendrent.

L'Industrie voit une faible mais constante diminution des émissions, principalement liées aux programmes de soutien (politique et économique) pour une meilleure efficacité énergétique. L'emploi de certification de durabilité des processus au sein des usines, ainsi que l'emploi de sources d'énergies renouvelables, malgré leurs efforts, arrivent à peine à dépasser le seuil du -30%. Le modèle en effet ne prévoit aucune modification structurale de la façon dans laquelle l'industrie gère ses flux et produit des externalités nuisibles.

Au contraire le secteur Transport routier, qui est le principal responsable des émissions du Luxembourg aujourd'hui, suit une trajectoire de diminution progressive, jusqu'à être compressé jusqu'à -90% en 2050. Cela est réalisé à travers des politiques de planification du trafic routier (MoDU 2.0) ainsi que par des interventions de l'état qui décourage le « tourisme à la pompe » grâce à une taxation alignée aux pays avoisinants (2021), et un soutien pour l'achat de voiture et bus électriques.

Pour ce qui concerne le bâti, divisé en Tertiaire et Résidentiel, les mesures sont similaires et incluent principalement des bonus pour améliorer la performance énergétique des bâtiments (isolation et système de chauffage très peu polluants). Par contre les deux prévoient de continuer à bâtir pour répondre à la demande croissante de logements (et de bureaux). Donc les hypothèses du modèle ne prennent pas en considération une limitation de la construction.

L'Agriculture joue un rôle marginal dans la réduction des émissions, et après 2030 se stabilise autour de -25%, en conséquence de l'introduction de systèmes d'agriculture organique, de la réduction du nombre des bovins et porcins et de la gestion efficace de leur déchets (liquide et gazeux). Le rapport justifie cet aplatissement avec la difficulté d'estimer l'allure des courbes après 2030. Pourtant il ne spécifie pas si la diminution de l'élevage national est compensée avec des importations de viande ou s'il y a effectivement un changement de régime alimentaire (moins de viande, plus de végétaux) qui permettrait l'autosuffisance alimentaire du Luxembourg. En outre il ne prévoit pas une variation des surfaces agricoles ou l'emploi de la forêt comme lieu de production alimentaire.

Dans le secteur Autres, les réductions sont principalement liées à l'emploi d'une logistique sur le chemin de fer plutôt que routière et une conséquente diminution des « émissions fugitives » calculées dans cette catégorie. Malgré ces efforts la réduction s'arrête à -30% bien avant 2050.

Finalement le PEC du LULUCF reste inaltéré parce que le modèle ne prévoit pas une différence entre WAM et WEM.

3. Construction du PEC selon les 3 visions du monde

voir : Feuille 7. PEC 3 visions

Le PEC, selon le BR4, nous a permis d'avoir une base solide à travers laquelle il est possible de construire des trajectoires de réduction des émissions GES différentes. Par rapport au BR4, le PEC selon les 3 visions du monde a été décalé de 5 ans. En effet, l'année de base du BR4 est 2015 et les premiers effets des mesures sont visibles en 2020. Alors notre modèle prend comme référence les valeurs de 2019 et prévoit une première modification en 2025.

FEUILLE 1. Catégories

This table shows how the 5 UNFCC categories have been disaggregated and re-assembled into the 8 categories proposed by the EU
 Source: <https://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2020>

5 categories UNFCC

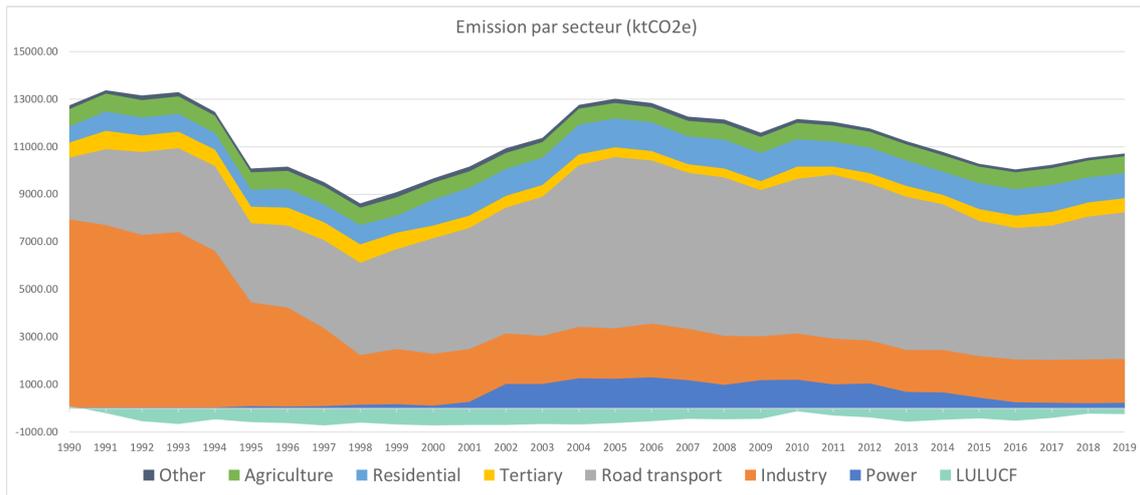
GHG emission	1 Energy	1.A Fuel combustion activities	1.A.1 Energy industries	1.A.1.a Public electricity and Heat production
			1.A.1.b Petroleum refining	
			1.A.2 Manufacture industries and constructions	1.A.1.c Manufacture of Solid fuels and other
				1.A.2.a Iron and Steel
				1.A.2.b Non-Ferrous metals
				1.A.2.c Chemicals
			1.A.3 Transport	1.A.2.d Pulp, Paper and Print
				1.A.2.e Food processing, beverage and tobacco
				1.A.2.f Non-metallic minerals
				1.A.2.g Other
	1.A.3.a Domestic aviation			
	1.A.3.b Road transport			
	1.A.4 Other sectors	1.A.3.c Railways		
		1.A.3.d Domestic navigation		
	2 Industrial process	1.B Fugitive emissions from fuel	1.A.4 a Commercial institutional	1.A.4 a Commercial institutional
			1.A.4 b Residential	1.A.4 b Residential
			1.A.4 c Agriculture/forestry/fishing	1.A.4 c Agriculture/forestry/fishing
			1.B.2 Solid fuel	
			1.B.2 Oil and natural gas	
			1.C CO2 transport and storage	
2.A Mineral industry				
2.B Chemical industry				
2.C Metal industry				
2.D Non-energy products from fuel and				
3 Agriculture	3.E Prescribed burning of savannas	2.E Electronic industry		
		2.F Product uses as ODS substitutes		
		2.G Other product manufacture and use		
		2.H Other		
		3.A Enteric fermentation		
		3.B Manure management		
		3.C Rice cultivation		
		3.D Agricultural soils		
		3.F field burning of agricultural residues		
		3.G Liming		
4 LULUCF	4.H Other	3.H Urea application		
		3.I Other carbon-containing fertilizers		
		3.J Other		
		4.A Forest land		
		4.B Cropland		
		4.C Grassland		
		4.D Wetlands		
		4.E Settlements		
		4.F Other land		
		4.G Harvested wood products		
5 Waste	5.E Other	5.A Solid waste disposal		
		5.B Biological treatment of solid waste		
		5.C Incinerator and open burning of		
		5.D Waste water management and		
		5.E Other		
6 Other	M. IB Aviation	M. IB Aviation		
		M. Intl Aviation EU ETS		

8 categories EU UNFCC categories grouped

Power	1.A.1 Energy industries
Industry	1.A.2 Manufacture industries and constructions 2 Industrial process
Road transport	1.A.3.a Road transport
Tertiary	1.A.4 a Commercial institutional
Residential	1.A.4 b Residential
Agriculture	1.A.4.c Agriculture/forestry/fishing 3 Agriculture
LULUCF	4 LULUCF
Other	6 Other 5 Waste 1.A.5 Other 1.B Fugitive emissions from fuel 1.A.3.a Domestic aviation 1.A.3.c Railways 1.A.3.d Domestic navigation
M. IB Aviation	

FEUILLE 3a. 1990-2040, inventory and projections

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Energy	35 64	37 29	37 38	35 89	34 43	33 54	32 56	31 73	31 04	30 47	29 93	29 41	28 91	28 42	27 95	27 50	27 06	26 63	26 21	25 80	25 40	25 00	24 60	24 20	23 80	23 40	23 00	22 60	22 20	
I.A.2 - Manufacturing industries and construction	626 75	619 45	616 34	613 23	610 12	607 01	603 90	600 79	597 68	594 57	591 46	588 35	585 24	582 13	579 02	575 91	572 80	569 69	566 58	563 47	560 36	557 25	554 14	551 03	547 92	544 81	541 70	538 59	535 48	
2 - Industrial processes and product use	183 33	186 83	189 33	191 83	194 33	196 83	199 33	201 83	204 33	206 83	209 33	211 83	214 33	216 83	219 33	221 83	224 33	226 83	229 33	231 83	234 33	236 83	239 33	241 83	244 33	246 83	249 33	251 83	254 33	
Industry	790 13	796 38	795 67	784 06	774 55	764 04	753 53	743 02	732 51	722 00	711 49	700 98	690 47	680 00	669 53	659 06	648 59	638 12	627 65	617 18	606 71	596 24	585 77	575 30	564 83	554 36	543 89	533 42	522 95	
Road transport	2390 54	2418 81	2447 08	2475 35	2503 62	2531 89	2560 16	2588 43	2616 70	2644 97	2673 24	2701 51	2729 78	2758 05	2786 32	2814 59	2842 86	2871 13	2899 40	2927 67	2955 94	2984 21	3012 48	3040 75	3069 02	3097 29	3125 56	3153 83	3182 10	
Industry	644 88	712 21	779 54	846 87	914 20	981 53	1048 86	1116 19	1183 52	1250 85	1318 18	1385 51	1452 84	1520 17	1587 50	1654 83	1722 16	1789 49	1856 82	1924 15	1991 48	2058 81	2126 14	2193 47	2260 80	2328 13	2395 46	2462 79	2530 12	
Residential	681 13	686 08	691 03	695 98	700 93	705 88	710 83	715 78	720 73	725 68	730 63	735 58	740 53	745 48	750 43	755 38	760 33	765 28	770 23	775 18	780 13	785 08	790 03	794 98	800 00	805 00	810 00	815 00	820 00	
I.A.4.c - Agriculture/forestry/Fishing	38 87	37 76	36 65	35 54	34 43	33 32	32 21	31 10	30 00	28 89	27 78	26 67	25 56	24 45	23 34	22 23	21 12	20 01	18 90	17 79	16 68	15 57	14 46	13 35	12 24	11 13	10 02	8 91	7 80	
S - Agriculture	605 57	709 26	808 95	898 64	988 33	1078 02	1167 71	1257 40	1347 09	1436 78	1526 47	1616 16	1705 85	1795 54	1885 23	1974 92	2064 61	2154 30	2243 99	2333 68	2423 37	2513 06	2602 75	2692 44	2782 13	2871 82	2961 51	3051 20	3140 89	
Agriculture	732 44	746 96	761 48	776 00	790 52	805 04	819 56	834 08	848 60	863 12	877 64	892 16	906 68	921 20	935 72	950 24	964 76	979 28	993 80	1008 32	1022 84	1037 36	1051 88	1066 40	1080 92	1095 44	1110 00	1124 52	1139 04	
I.A.2.a Domestic aviation	0 21	0 28	0 35	0 42	0 49	0 56	0 63	0 70	0 77	0 84	0 91	0 98	1 05	1 12	1 19	1 26	1 33	1 40	1 47	1 54	1 61	1 68	1 75	1 82	1 89	1 96	2 03	2 10	2 17	
I.A.2.a Maritime	24 91	24 90	24 89	24 88	24 87	24 86	24 85	24 84	24 83	24 82	24 81	24 80	24 79	24 78	24 77	24 76	24 75	24 74	24 73	24 72	24 71	24 70	24 69	24 68	24 67	24 66	24 65	24 64	24 63	
I.A.2.a Domestic navigation	1 44	1 37	1 30	1 23	1 16	1 09	1 02	0 95	0 88	0 81	0 74	0 67	0 60	0 53	0 46	0 39	0 32	0 25	0 18	0 11	0 04	-0 03	-0 10	-0 17	-0 24	-0 31	-0 38	-0 45	-0 52	
I.A.2.c Other	3 15	3 11	3 07	3 03	2 99	2 95	2 91	2 87	2 83	2 79	2 75	2 71	2 67	2 63	2 59	2 55	2 51	2 47	2 43	2 39	2 35	2 31	2 27	2 23	2 19	2 15	2 11	2 07	2 03	
I.B. Fugitive emissions from fuels	19 59	20 11	20 63	21 15	21 67	22 19	22 71	23 23	23 75	24 27	24 79	25 31	25 83	26 35	26 87	27 39	27 91	28 43	28 95	29 47	30 00	30 52	31 04	31 56	32 08	32 60	33 12	33 64	34 16	
S - Waste	105 14	107 05	108 96	110 87	112 78	114 69	116 60	118 51	120 42	122 33	124 24	126 15	128 06	129 97	131 88	133 79	135 70	137 61	139 52	141 43	143 34	145 25	147 16	149 07	150 98	152 89	154 80	156 71	158 62	
Other	154 21	157 42	160 63	163 84	167 05	170 26	173 47	176 68	179 89	183 10	186 31	189 52	192 73	195 94	199 15	202 36	205 57	208 78	211 99	215 20	218 41	221 62	224 83	228 04	231 25	234 46	237 67	240 88	244 09	
LULUCF	100 27	100 27	100 27	100 27	100 27	100 27	100 27	100 27	100 27	100 27	100 27	100 27	100 27	100 27	100 27	100 27	100 27	100 27	100 27	100 27	100 27	100 27	100 27	100 27	100 27	100 27	100 27	100 27	100 27	
Net LULUCF	126 61	126 61	126 61	126 61	126 61	126 61	126 61	126 61	126 61	126 61	126 61	126 61	126 61	126 61	126 61	126 61	126 61	126 61	126 61	126 61	126 61	126 61	126 61	126 61	126 61	126 61	126 61	126 61	126 61	
Total	189 451 21	190 058 01	190 664 81	191 271 61	191 878 41	192 485 21	193 092 01	193 698 81	194 305 61	194 912 41	195 519 21	196 126 01	196 732 81	197 339 61	197 946 41	198 553 21	199 160 01	199 766 81	200 373 61	200 980 41	201 587 21	202 194 01	202 800 81	203 407 61	204 014 41	204 621 21	205 228 01	205 834 81	206 441 61	
I2 - Industry	7940 27	7706 57	7472 87	7239 17	7005 47	6771 77	6538 07	6304 37	6070 67	5836 97	5603 27	5369 57	5135 87	4902 17	4668 47	4434 77	4201 07	3967 37	3733 67	3499 97	3266 27	3032 57	2798 87	2565 17	2331 47	2097 77	1864 07	1630 37	1396 67	
I2.a - Road transport	10531 31	10899 38	11267 45	11635 52	12003 59	12371 66	12739 73	13107 80	13475 87	13843 94	14212 01	14580 08	14948 15	15316 22	15684 29	16052 36	16420 43	16788 50	17156 57	17524 64	17892 71	18260 78	18628 85	19000 00	19372 13	19744 26	20116 39	20488 52	20860 65	
I2.a.b - Maritime	11173 38	11049 38	10925 38	10801 38	10677 38	10553 38	10429 38	10305 38	10181 38	10057 38	9933 38	9809 38	9685 38	9561 38	9437 38	9313 38	9189 38	9065 38	8941 38	8817 38	8693 38	8569 38	8445 38	8321 38	8197 38	8073 38	7949 38	7825 38	7701 38	
I2.a.b.a - Residential	11854 43	12478 63	13102 83	13727 03	14351 23	14975 43	15600 00	16224 57	16849 14	17473 71	18098 28	18722 85	19347 42	19972 00	20596 57	21221 14	21845 71	22470 28	23094 85	23719 42	24343 99	24968 56	25593 13	26217 70	26842 27	27466 84	28091 41	28715 98	29340 55	
I2.a.b.a.c - Agriculture	1268 88	1274 88	1280 88	1286 88	1292 88	1298 88	1304 88	1310 88	1316 88	1322 88	1328 88	1334 88	1340 88	1346 88	1352 88	1358 88	1364 88	1370 88	1376 88	1382 88	1388 88	1394 88	1400 88	1406 88	1412 88	1418 88	1424 88	1430 88	1436 88	
I2.a.b.a.c.a - Other	12941 04	13392 76	13844 48	14296 20	14747 92	15199 64	15651 36	16103 08	16554 80	17006 52	17458 24	17909 96	18361 68	18813 40	19265 12	19716 84	20168 56	20620 28	21071 99	21523 71	21975 43	22427 15	22878 87	23330 59	23782 31	24234 03	24685 75	25137 47	25589 19	
M3 - Aviation	189 451 21	190 058 01	190 664 81	191 271 61	191 878 41	192 485 21	193 092 01	193 698 81	194 305 61	194 912 41	195 519 21	196 126 01	196 732 81	197 339 61	197 946 41	198 553 21	199 160 01	199 766 81	200 373 61	200 980 41	201 587 21	202 194 01	202 800 81	203 407 61	204 014 41	204 621 21	205 228 01	205 834 81	206 441 61	

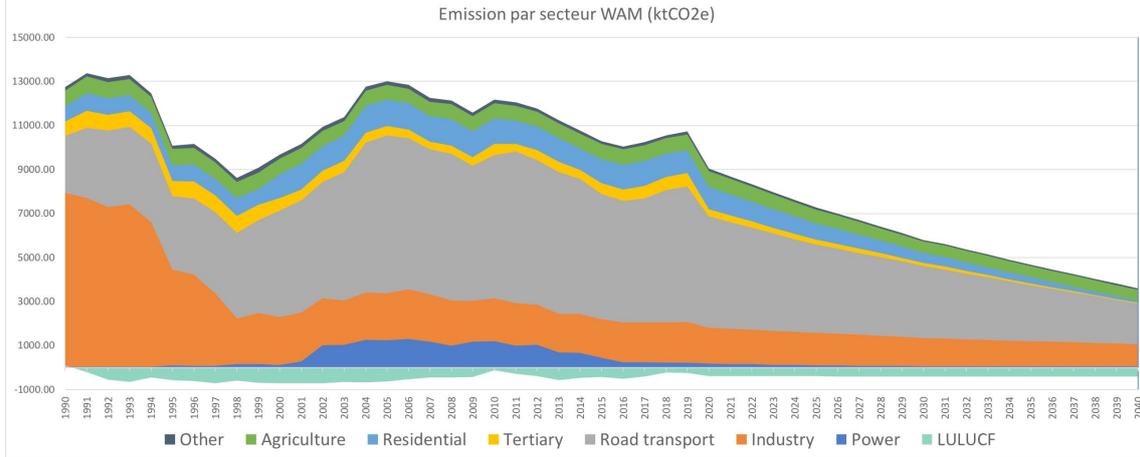


FEUILLE 3b. 1990-2040, inventory and projections

2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
181.17	163.88	155.00	123.18	115.31	107.31	102.18	91.19	87.03	78.19	72.47	66.25	63.13	61.70	61.70	61.70	61.70	61.70	61.70	61.70	61.70
1007.74	994.69	977.68	960.27	939.89	920.00	897.82	874.47	847.43	819.06	784.15	790.13	764.54	748.55	734.07	721.01	706.22	692.36	677.07	655.79	635.78
619.45	607.94	596.44	584.94	573.43	561.93	546.33	530.72	515.12	499.52	483.92	471.63	459.33	447.04	434.75	422.45	410.91	399.37	387.83	376.28	364.74
1627.18	1602.63	1574.12	1545.21	1513.32	1481.93	1444.15	1405.20	1362.55	1318.58	1268.06	1261.76	1223.87	1195.59	1168.81	1143.46	1117.13	1091.73	1064.90	1032.08	1000.52
5066.17	4851.44	4636.70	4421.96	4207.22	3992.48	3864.21	3715.99	3572.50	3435.21	3278.00	3133.95	2990.07	2843.67	2689.36	2538.98	2394.97	2255.29	2117.95	1982.95	1853.34
312.85	293.71	277.53	261.69	244.24	227.55	209.76	192.64	174.55	157.06	138.40	132.27	119.68	107.69	95.48	84.59	72.83	61.05	49.28	39.37	27.56
1020.17	957.74	904.98	853.34	796.43	742.00	684.01	628.16	569.20	512.15	451.31	431.31	390.24	351.15	311.34	275.84	237.48	199.08	160.69	128.37	89.88
27.20	25.54	24.13	22.76	21.24	19.79	18.24	16.75	15.18	13.66	12.03	11.50	10.41	9.36	8.30	7.36	6.33	5.31	4.28	3.42	2.40
699.43	680.87	662.34	643.72	625.13	606.55	588.15	569.85	551.55	533.25	514.96	513.61	512.27	510.94	509.61	508.27	506.94	505.64	504.66	503.69	502.71
726.64	706.41	686.47	666.48	646.36	626.33	606.39	586.60	566.73	546.91	526.99	525.11	522.68	520.30	517.91	515.63	513.27	510.95	508.95	507.11	505.11
0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
9.77	9.79	9.81	9.83	9.85	9.87	9.89	9.91	9.93	9.95	9.97	9.98	9.98	9.98	9.99	10.00	10.01	10.02	10.02	10.03	10.04
1.24	1.25	1.25	1.25	1.26	1.26	1.26	1.27	1.28	1.28	1.29	1.29	1.30	1.30	1.31	1.31	1.31	1.31	1.32	1.32	1.33
0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
28.83	27.78	26.82	25.85	24.73	23.66	22.46	21.26	19.93	18.60	17.06	16.63	15.64	14.70	13.79	12.92	11.97	11.06	10.13	9.26	8.33
78.84	74.50	70.17	65.84	61.50	57.17	53.10	49.03	44.97	40.90	36.83	37.47	38.12	38.76	39.40	40.04	40.52	40.99	41.47	41.94	42.41
119.43	114.06	108.79	103.52	98.09	92.70	87.46	82.22	76.85	71.48	65.90	66.12	65.78	65.50	65.24	65.02	64.56	64.13	63.69	63.30	62.86
-390.10	-390.70	-391.31	-391.92	-392.52	-393.13	-393.63	-394.13	-394.62	-395.12	-400.62	-400.34	-400.05	-399.77	-399.49	-399.21	-398.83	-398.45	-398.07	-397.69	-397.32
8663.53	8298.17	7952.28	7583.47	7228.44	6877.16	6603.54	6305.88	6011.78	5720.46	5400.52	5216.43	4975.40	4745.82	4510.34	4284.01	4063.10	3845.47	3629.07	3417.17	3203.64

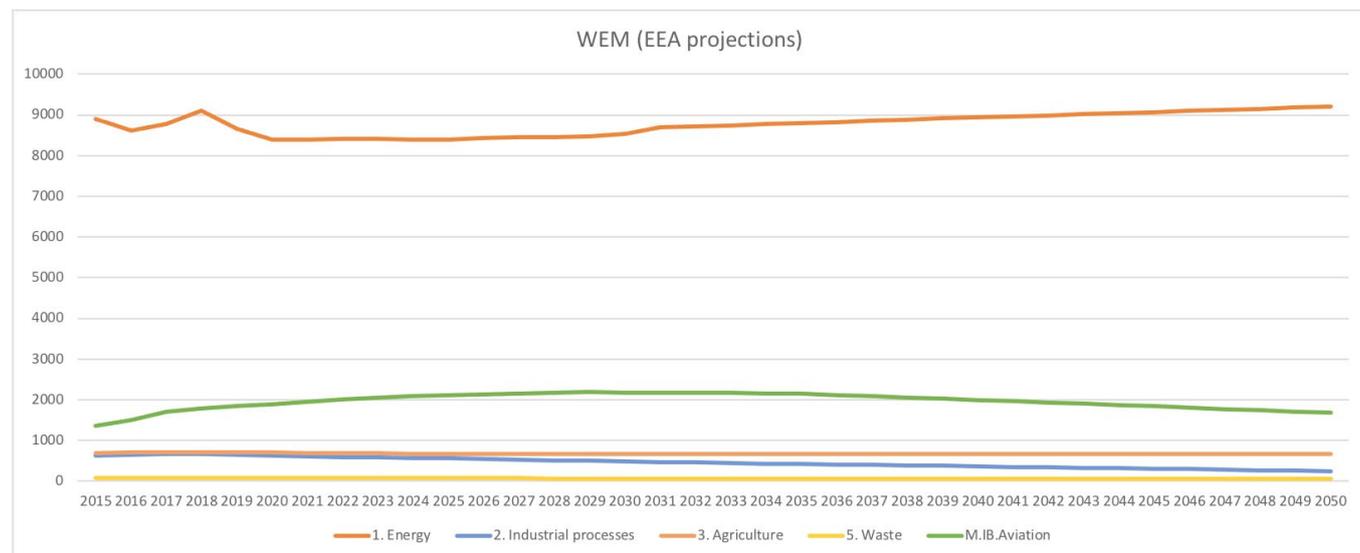
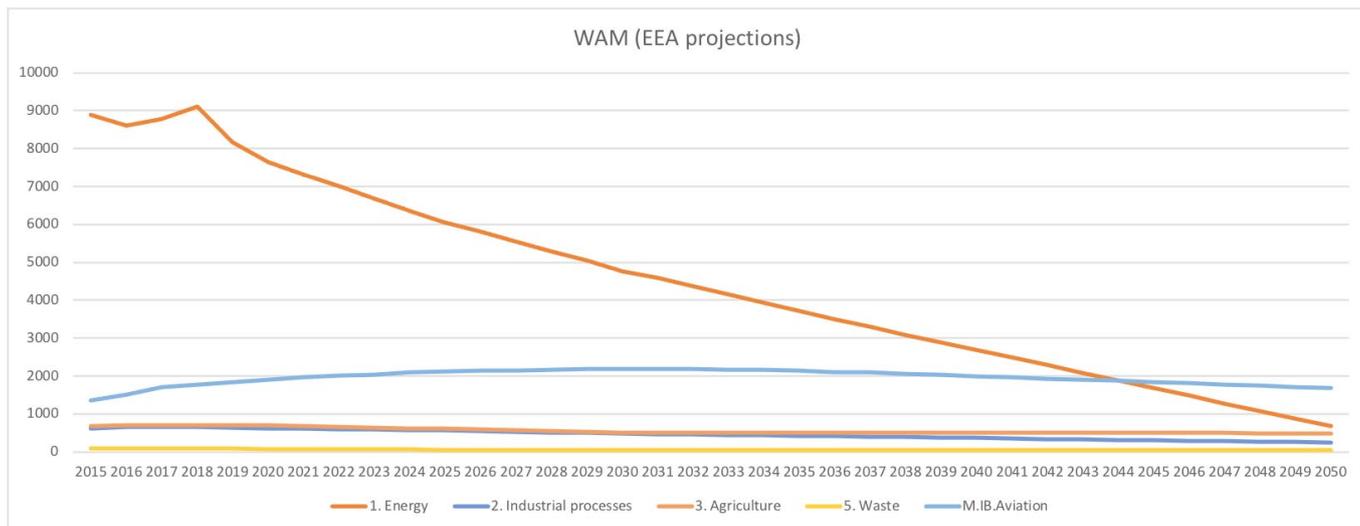
1808.36	1765.52	1729.12	1668.39	1628.62	1589.24	1546.33	1496.39	1449.58	1396.77	1340.54	1328.01	1287.00	1257.29	1230.51	1205.16	1178.83	1153.42	1126.59	1093.77	1062.21
6874.53	6616.95	6365.82	6090.35	5835.84	5581.72	5410.54	5212.39	5022.08	4831.98	4618.54	4461.95	4277.07	4100.95	3919.87	3742.14	3573.79	3408.71	3244.54	3076.72	2915.55
7187.38	6910.66	6643.35	6352.04	6080.08	5809.26	5620.31	5405.02	5196.63	4989.04	4756.94	4594.22	4396.74	4208.64	4015.35	3826.73	3642.82	3469.76	3293.82	3116.09	2943.12
8207.56	7868.40	7548.33	7205.39	6876.51	6551.27	6304.32	6033.18	5765.83	5501.19	5208.25	5025.53	4786.99	4559.79	4326.69	4102.57	3884.10	3668.84	3454.50	3244.46	3032.99
8934.19	8574.81	8234.80	7871.87	7522.88	7177.60	6910.71	6619.79	6332.56	6048.10	5735.24	5550.64	5309.67	5080.09	4844.60	4618.20	4397.37	4179.79	3963.45	3751.57	3538.10
9053.63	8688.87	8343.59	7975.38	7620.96	7270.30	6998.17	6702.01	6409.41	6119.58	5801.13	5616.77	5375.45	5145.59	4909.83	4683.22	4461.93	4243.92	4027.14	3814.86	3600.96

1894.32	1959.48	2003.02	2043.27	2089.95	2122.36	2134.58	2150.83	2168.73	2187.31	2182.71	2179.84	2176.55	2175.96	2161.25	2144.92	2106.14	2095.55	2053.10	2026.03	2000.09
---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------



2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
208.00	208.00	208.00	208.00	208.00	208.00	208.00	208.00	208.00	208.00	208.00	208.00	208.00	208.00	208.00	208.00	208.00	208.00	208.00	208.00	208.00
1037.01	1036.79	1032.13	1027.65	1020.13	1013.35	1005.59	997.77	986.87	975.27	957.51	968.47	965.48	963.49	963.25	963.43	962.11	961.86	960.39	960.01	958.41
619.45	607.94	596.44	584.94	573.43	561.93	546.33	530.72	515.12	499.52	483.92	471.63	459.33	447.04	434.75	422.45	410.91	399.37	387.83	376.28	364.74
1656.45	1644.73	1628.57	1612.58	1593.57	1575.27	1551.91	1528.49	1502.00	1474.79	1441.42	1440.09	1424.81	1410.53	1397.99	1386.98	1373.02	1361.23	1348.22	1336.30	1323.15
5442.46	5463.20	5494.00	5514.17	5518.36	5537.44	5603.64	5645.95	5690.31	5736.98	5832.94	6007.77	6044.75	6081.73	6118.72	6155.70	6192.68	6229.66	6266.64	6303.62	6340.60
381.29	379.03	375.63	372.47	368.08	363.83	359.89	356.52	352.36	348.51	343.75	338.46	335.02	332.31	330.86	329.68	327.44	325.93	323.58	321.95	319.51
1243.35	1235.98	1224.88	1214.57	1200.26	1186.40	1173.56	1162.56	1149.00	1136.46	1120.93	1103.68	1092.45	1083.63	1078.90	1075.05	1067.74	1062.82	1055.16	1049.85	1041.87
33.16	32.96	32.66	32.39	32.01	31.64	31.30	31.00	30.64	30.31	29.89	29.43	29.13	28.90	28.77	28.67	28.47	28.34	28.14	28.00	27.78
701.25	694.62	690.52	684.28	678.11	671.24	668.79	668.98	668.91	669.07	669.08	668.91	668.48	668.20	668.01	667.95	667.86	667.65	667.42	667.18	666.98
734.40	727.58	723.19	716.66	710.12	702.88	700.08	699.98	699.55	699.38	698.97	698.34	697.61	697.09	696.78	696.62	696.32	695.99	695.56	695.18	694.77
0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
9.77	9.79	9.81	9.83	9.85	9.87	9.89	9.91	9.93	9.95	9.97	9.98	9.98	9.99	10.00	10.01	10.02	10.02	10.03	10.04	10.05
1.24	1.25	1.25	1.25	1.26	1.26	1.26	1.27	1.28	1.28	1.29	1.29	1.30	1.30	1.31	1.31	1.31	1.31	1.32	1.32	1.33
0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
30.99	31.03	30.97	30.94	30.79	30.66	30.52	30.42	30.21	30.02	29.68	29.52	29.30	29.15	29.10	29.07	28.96	28.90	28.78	28.72	28.58
78.84	77.42	76.00	74.58	73.16	71.74	71.08	70.41	69.75	69.09	68.42	68.35	68.27	68.20	68.13	68.05	67.94	67.82	67.71	67.59	67.47
121.59	120.23	118.78	117.34	115.80	114.28	113.50	112.75	111.91	111.09	110.10	109.88	109.60	109.39	109.27	109.19	108.96	108.80	108.57	108.41	108.17
-390.10	-390.70	-391.31	-391.92	-392.52	-393.13	-393.63	-394.13	-394.62	-395.12	-400.62	-400.34	-400.05	-399.77	-399.49	-399.21	-398.83	-398.45	-398.07	-397.69	-397.32
9397.45	9388.06	9381.73	9363.89	9321.66	9294.97	9315.96	9318.13	9315.50	9316.09	9355.50	9505.89	9512.20	9522.92	9541.04	9560.92	9575.35	9593.97	9607.67	9625.62	9638.75

1864.45	1852.73	1836.57	1820.58	1801.57	1783.27	1759.91	1736.49	1710.00	1682.79	1649.42	1648.09	1632.81	1618.53	1605.99	1593.88	1581.02	1569.23	1556.27	1544.30	1531.15
7306.91	7315.94	7330.57	7334.76	7319.92	7320.71	7363.55	7382.44	7400.31	7419.77	7482.36	7655.87	7677.57	7700.26	7724.71	7749.58	7773.70	7798.89	7822.86	7847.92	7871.75
7688.20	7694.97	7706.20	7707.23	7688.00	7684.54	7723.44	7738.96	7752.67	7768.29	7826.11	7994.33	8012.59	8032.58	8056.57	8079.26	8101.14	8124.82	8146.45	8169.87	8191.26
8931.55	8930.95	8931.08	8921.80	8888.26	8870.95	8897.01	8901.52	8901.66	8904.74	8947.04	9098.00	9105.03	9116.21	9134.47	9154.32	9168.88	9187.63	9201.61	9219.72	9233.13
9665.96	9658.53	9654.27	9638.46	9598.38	9573.83	9597.09	9601.51													



FEUILLE 5. BR4

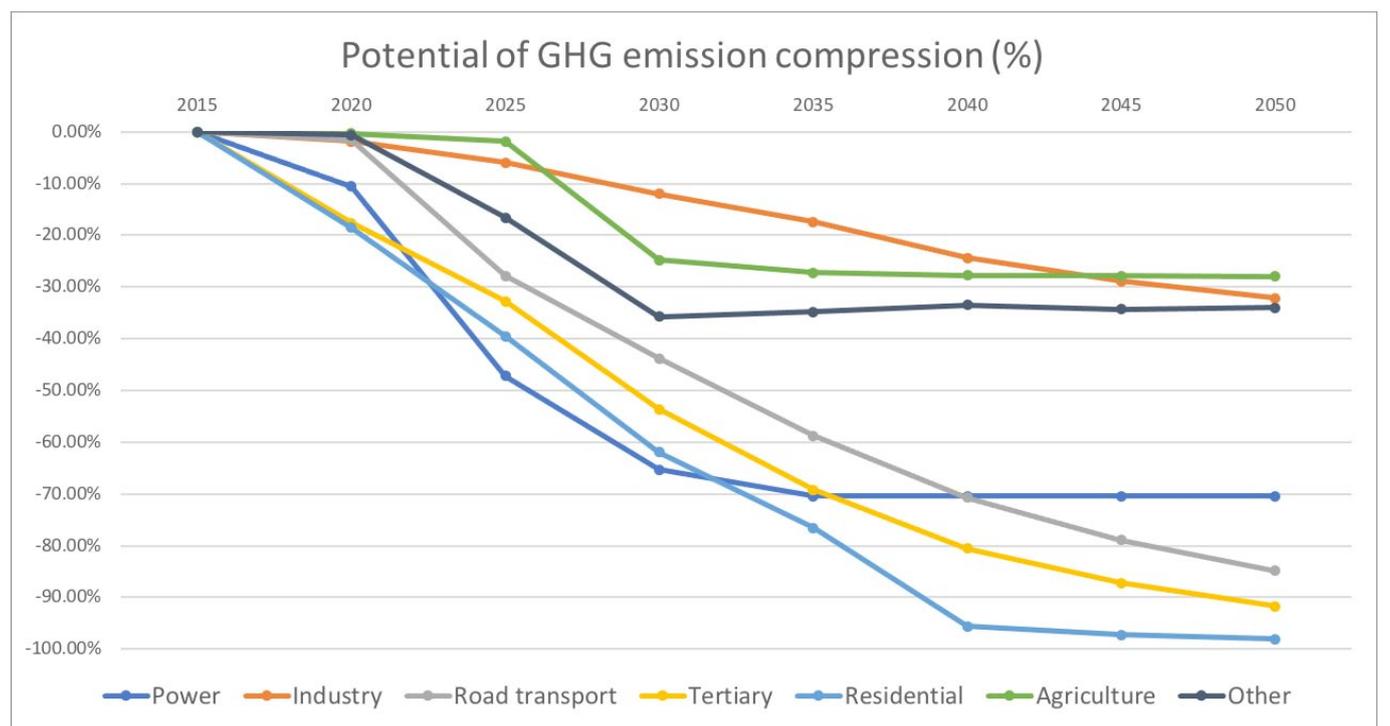
WEM							
	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Power	208	208	208.00	208.00	208.00	208.00	208.00
Industry	1650.96	1581.97	1446.51	1389.85	1326.45	1272.00	1213.00
Road transport	5149.17	5539.44	5839.44	6156.39	6340.69	6540.00	6757.00
Tertiary	489.22	426.39	370.26	349.23	321.18	297.00	278.00
Residential	1144.15	1130.66	1099.00	1058.45	1041.76	1012.00	989.00
Agriculture	717.34	692.16	688.18	686.37	684.77	678.00	674.00
Other	118.38	115.19	112.65	112.48	112.51	111.00	109.00

WAM							
	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Power	186.04	109.84	72.27	61.50	61.50	61.50	61.50
Industry	1620.96	1488.62	1273.15	1147.43	1003.82	905.00	823.00
Road transport	5068.92	3994.72	3279.78	2538.32	1854.25	1378.00	1023.00
Tertiary	403.13	286.69	171.82	107.76	62.38	38.00	23.00
Residential	932.68	684.60	418.26	248.36	45.79	28.50	19.00
Agriculture	715.20	679.74	517.78	499.59	494.71	489.00	486.00
Other	117.63	96.07	72.37	73.35	74.82	73.00	72.00

(WAM - WEM) / WEM Cumulative % of reduction								
	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Power	0.00%	-10.56%	-47.19%	-65.25%	-70.43%	-70.43%	-70.43%	-70.43%
Industry	0.00%	-1.82%	-5.90%	-11.98%	-17.44%	-24.32%	-28.85%	-32.15%
Road transport	0.00%	-1.56%	-27.89%	-43.83%	-58.77%	-70.76%	-78.93%	-84.86%
Tertiary	0.00%	-17.60%	-32.76%	-53.59%	-69.14%	-80.58%	-87.21%	-91.73%
Residential	0.00%	-18.48%	-39.45%	-61.94%	-76.54%	-95.60%	-97.18%	-98.08%
Agriculture	0.00%	-0.30%	-1.79%	-24.76%	-27.21%	-27.76%	-27.88%	-27.89%
Other	0.00%	-0.63%	-16.60%	-35.76%	-34.79%	-33.50%	-34.23%	-33.94%

This table summarises the content of the BR4 for the WAM and WEM scenarios.
Source: <https://unfccc.int/documents/266587>

	Date	Total reduction 2040	2020				2025				2030				2035				2040				2045				2050								
			WEM	WAM	WEM/WAM	WEM/WAM	WEM	WAM	WEM/WAM	WEM/WAM	WEM	WAM	WEM/WAM	WEM/WAM	WEM	WAM	WEM/WAM	WEM/WAM	WEM	WAM	WEM/WAM	WEM/WAM	WEM	WAM	WEM/WAM	WEM/WAM									
Power	Phase-out of incineration Decommissioned heat and power (CHP) installations Quantity of waste treated/reduced: fuel of paper, cardboard, food waste, plastic (recycled) Only biomass power plants from organic waste (biowaste, etc.)	2025	208.00	208.00	100.00%	208.00	208.00	100.00%	208.00	208.00	100.00%	208.00	208.00	100.00%	208.00	208.00	100.00%	208.00	208.00	100.00%	208.00	208.00	100.00%	208.00	208.00	100.00%	208.00	208.00	100.00%	208.00	208.00	100.00%			
Industry	Increase energy efficiency by 50/year (NEEP) ISO 50001 certification on energy management for manufacturing Climate Agreement for industry energy efficiency Renewable energy: deep geothermal energy, heat pumps, residual heat From industry and data centres, sustainable wood, wind and PV energy	2017	811.78	1650.96	19.20%	1581.97	1488.62	94.18%	1446.51	1273.15	87.9%	1389.85	1147.43	82.9%	1326.45	1003.82	75.7%	1272.00	905.00	71.1%	1213.00	823.00	67.8%	1160.00	850.00	73.2%	1100.00	780.00	70.9%	1050.00	750.00	71.4%			
Road transport	Narrowing of road fuel price differentials between Luxembourg and its neighbouring countries: Total increase of oil prices per litre over 33 years More efficient, less emitting vehicles, vehicle registration tax for newly acquired vehicles 100% electric public bus 100% electric private cars 40% of electric/hybrid cars Renewing concrete vehicle fleets Sustainable biofuels: second-generation biofuels up to 10% Mobility strategy 4 objectives model shift for commuters Increase occupancy rate of cars model shift home-schools attractivity of shared transport	2019-2030	12289.14	13488.17	109.76%	15399.44	1994.72	130.7%	1839.44	3279.78	178.3%	2538.32	4182.26	164.7%	3279.78	5177.82	157.9%	4182.26	7157.78	171.1%	5177.82	8230.00	158.9%	6757.00	10230.00	151.2%	8230.00	12130.00	147.3%	10230.00	14757.00	144.6%			
Tertiary	From 8000 to 10000 units + 1300 Energy efficiency: nearly zero energy building (NZEB) Renovation of buildings: Energy Efficiency Obligation Scheme (EEOS) + bonus program for the replacement of fossil fuelled boilers and the installation of low-temperature heating networks PE system on all public buildings Alternative heating systems: deep geothermal energy, heat pumps, sustainable wood, PV Speed up renovation rate: from 0.5/year to 2.5/year	2017-2030	344.35	488.21	141.8%	436.59	386.00	88.3%	370.26	171.82	46.4%	107.76	62.38	57.9%	62.38	38.00	60.8%	38.00	61.0%	38.00	61.0%	38.00	61.0%	38.00	61.0%	38.00	61.0%	38.00	61.0%	38.00	61.0%	38.00	61.0%		
Residential	Newly built: 90000 units with A+ energy class Energy efficiency: nearly zero energy building (NZEB) Renovation: 2000 renovations, rate 70/year and depth of 72% PRIMA House scheme: advice + financial aid for renovation and newly built + 2000 renovations/year Bonuses for replacement of fossil fuelled boilers and the installation of low-temperature heating networks	2017-2030	1144.15	1144.15	100.00%	1130.66	1099.00	96.1%	1099.00	1058.45	96.7%	1041.76	1012.00	97.2%	1012.00	989.00	97.6%	1012.00	989.00	97.7%	1012.00	989.00	97.7%	1012.00	989.00	97.7%	1012.00	989.00	97.7%	1012.00	989.00	97.7%	1012.00	989.00	97.7%
Agriculture	Reduction of number of cows and pigs Measures to decrease nitrogen footprint Environment-friendly dairy management Climate farming: from 20% to 100% Methane use of animal effluents for biogas plants Efficient sustainable techniques to prevent it: covering of pits, prohibition of open pits Fertilizers: reduce nitrogen fertilization on arable land and grassland No intervention for forage	2025-2050	717.34	717.34	100.00%	692.16	679.74	96.1%	688.18	686.37	99.7%	684.77	678.00	99.1%	678.00	674.00	99.4%	678.00	674.00	99.4%	678.00	674.00	99.4%	678.00	674.00	99.4%	678.00	674.00	99.4%	678.00	674.00	99.4%	678.00	674.00	99.4%
Other	Freight transport diverted from road to rail Decrease in fugitive emissions Reducing waste production and sharing out landfilling Promote energy efficiency and clean technologies	2030	118.38	118.38	100.00%	115.19	112.48	95.6%	112.48	111.00	98.8%	111.00	109.00	98.0%	111.00	109.00	98.2%	111.00	109.00	98.2%	111.00	109.00	98.2%	111.00	109.00	98.2%	111.00	109.00	98.2%	111.00	109.00	98.2%	111.00	109.00	98.2%
UNFCCC	No NEEP measures are considered here In general: afforestation and good practices to keep forest and grassland	2020	0.00	390.10	390.10%	393.13	393.13%	400.62	400.62%	399.21	399.21%	397.83	397.83%	397.13	397.13%	397.13%	397.13%	397.13%	397.13%	397.13%	397.13%	397.13%	397.13%	397.13%	397.13%	397.13%	397.13%	397.13%	397.13%	397.13%	397.13%	397.13%	397.13%		
TOTAL			4477.81	3644.91	81.4%	3641.81	3242.81	72.9%	3242.81	2538.32	78.3%	2538.32	1854.25	73.1%	1854.25	1378.00	74.3%	1378.00	1023.00	74.3%	1023.00	823.00	80.4%	823.00	720.00	87.5%	720.00	675.00	93.8%	675.00	675.00	100.00%			



FEUILLE 6. EEA - WEM / EEA - WAM / EEA - PEC

	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050		
Power	181.17	162.88	155.00	123.18	107.31	102.18	97.03	91.19	87.03	83.13	79.47	76.28	73.47	71.04	68.94	67.16	65.67	64.43	63.41	62.58	61.92	61.41	61.00	60.67	60.41	60.20	60.04	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	
1. Manufacturing industries and construction	155.00	136.79	123.18	92.88	77.47	72.47	67.47	62.47	57.47	52.47	47.47	42.47	37.47	32.47	27.47	22.47	17.47	12.47	7.47	2.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
2. Industrial processes and product use	61.84	60.79	59.64	58.94	58.31	57.76	57.28	56.86	56.49	56.16	55.87	55.61	55.38	55.18	55.00	54.84	54.70	54.58	54.48	54.40	54.34	54.29	54.25	54.22	54.20	54.18	54.16	54.15	54.14	54.13	54.12	54.11	54.10
Industry	167.19	160.63	157.41	151.92	148.19	144.15	140.20	136.55	133.18	130.06	127.17	124.50	122.04	119.78	117.71	115.81	114.04	112.47	111.09	109.87	108.80	107.87	107.07	106.38	105.79	105.28	104.84	104.46	104.13	103.84	103.58	103.34	103.11
Road transport	4851.44	4688.79	4541.96	4407.22	4284.48	4181.91	4094.51	4011.54	3932.24	3856.84	3784.64	3715.99	3650.24	3587.84	3528.24	3471.84	3418.24	3367.04	3317.84	3270.24	3224.84	3181.24	3139.04	3098.04	3058.04	3019.04	2981.04	2944.04	2908.04	2873.04	2839.04	2806.04	2774.04
Territory	312.85	277.53	251.99	224.26	201.76	182.56	166.36	152.76	141.36	131.76	123.76	116.96	111.16	106.16	101.76	97.76	94.06	90.66	87.56	84.76	82.26	80.06	78.16	76.56	75.26	74.26	73.56	73.06	72.76	72.56	72.46	72.41	72.40
1.A.A.c. Agriculture/forestry/fishing	27.20	25.54	24.13	22.76	21.24	19.79	18.24	16.76	15.24	13.66	12.08	10.41	8.76	7.04	5.24	3.44	1.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
3. Agriculture	699.43	680.87	662.34	643.72	625.13	606.55	588.15	569.85	551.55	533.25	514.96	500.11	484.76	470.11	456.11	442.66	429.66	417.11	405.00	393.33	382.11	371.33	360.99	351.11	341.66	332.55	323.77	315.33	307.22	299.44	291.99	284.88	278.11
4. Domestic aviation	776.64	706.41	666.47	606.48	566.36	526.11	485.79	445.36	404.89	364.36	323.79	283.16	242.49	201.76	160.99	120.16	79.29	38.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1.A.3.a Domestic aviation	9.72	9.52	9.31	9.10	8.89	8.67	8.45	8.22	7.99	7.75	7.51	7.26	7.01	6.75	6.49	6.22	5.94	5.65	5.35	5.04	4.72	4.39	4.05	3.70	3.34	2.97	2.59	2.20	1.80	1.39	0.97	0.55	
1.A.3.b Domestic navigation	1.24	1.25	1.25	1.25	1.25	1.26	1.26	1.27	1.28	1.29	1.29	1.30	1.30	1.31	1.31	1.31	1.32	1.33	1.33	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.35	1.35	1.35	1.36	1.36	1.36	
1.B. Fugitive emissions from fuels	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	
5. Other	28.83	27.78	26.83	25.85	24.75	23.55	22.26	20.87	19.38	17.79	16.11	14.36	12.54	10.66	8.71	6.70	4.64	2.53	0.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1.A.3.c Domestic navigation	139.43	134.96	129.79	124.91	119.32	113.02	106.00	98.26	90.79	82.56	73.66	64.11	53.91	43.06	31.56	20.29	8.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1.A.3.d Domestic navigation	114.06	108.79	103.52	98.26	93.00	87.74	82.48	77.22	71.96	66.70	61.44	56.18	50.92	45.66	40.40	35.14	29.88	24.62	19.36	14.10	8.84	3.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1.A.3.e Domestic navigation	114.06	108.79	103.52	98.26	93.00	87.74	82.48	77.22	71.96	66.70	61.44	56.18	50.92	45.66	40.40	35.14	29.88	24.62	19.36	14.10	8.84	3.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1.A.3.f Domestic navigation	114.06	108.79	103.52	98.26	93.00	87.74	82.48	77.22	71.96	66.70	61.44	56.18	50.92	45.66	40.40	35.14	29.88	24.62	19.36	14.10	8.84	3.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1.A.3.g Domestic navigation	114.06	108.79	103.52	98.26	93.00	87.74	82.48	77.22	71.96	66.70	61.44	56.18	50.92	45.66	40.40	35.14	29.88	24.62	19.36	14.10	8.84	3.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1.A.3.h Domestic navigation	114.06	108.79	103.52	98.26	93.00	87.74	82.48	77.22	71.96	66.70	61.44	56.18	50.92	45.66	40.40	35.14	29.88	24.62	19.36	14.10	8.84	3.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1.A.3.i Domestic navigation	114.06	108.79	103.52	98.26	93.00	87.74	82.48	77.22	71.96	66.70	61.44	56.18	50.92	45.66	40.40	35.14	29.88	24.62	19.36	14.10	8.84	3.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1.A.3.j Domestic navigation	114.06	108.79	103.52	98.26	93.00	87.74	82.48	77.22	71.96	66.70	61.44	56.18	50.92	45.66	40.40	35.14	29.88	24.62	19.36	14.10	8.84	3.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1.A.3.k Domestic navigation	114.06	108.79	103.52	98.26	93.00	87.74	82.48	77.22	71.96	66.70	61.44	56.18	50.92	45.66	40.40	35.14	29.88	24.62	19.36	14.10	8.84	3.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1.A.3.l Domestic navigation	114.06	108.79	103.52	98.26	93.00	87.74	82.48	77.22	71.96	66.70	61.44	56.18	50.92	45.66	40.40	35.14	29.88	24.62	19.36	14.10	8.84	3.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1.A.3.m Domestic navigation	114.06	108.79	103.52	98.26	93.00	87.74	82.48	77.22	71.96	66.70	61.44	56.18	50.92	45.66	40.40	35.14	29.88	24.62	19.36	14.10	8.84	3.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1.A.3.n Domestic navigation	114.06	108.79	103.52	98.26	93.00	87.74	82.48	77.22	71.96	66.70	61.44	56.18	50.92	45.66	40.40	35.14	29.88	24.62	19.36	14.10	8.84	3.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1.A.3.o Domestic navigation	114.06	108.79	103.52	98.26	93.00	87.74	82.48	77.22	71.96	66.70	61.44	56.18	50.92	45.66	40.40	35.14	29.88	24.62	19.36	14.10	8.84	3.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1.A.3.p Domestic navigation	114.06	108.79	103.52	98.26	93.00	87.74	82.48	77.22	71.96	66.70	61.44	56.18	50.92	45.66	40.40	35.14	29.88	24.62	19.36	14.10	8.84	3.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1.A.3.q Domestic navigation	114.06	108.79	103.52	98.26	93.00	87.74	82.48	77.22	71.96	66.70	61.44	56.18	50.92	45.66	40.40	35.14	29.88	24.62	19.36	14.10	8.84	3.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1.A.3.r Domestic navigation	114.06	108.79	103.52	98.26	93.00	87.74	82.48	77.22	71.96	66.70	61.44	56.18	50.92	45.66	40.40	35.14	29.88	24.62	19.36	14.10	8.84	3.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1.A.3.s Domestic navigation	114.06	108.79	103.52	98.26	93.00	87.74	82.48	77.22	71.96	66.70	61.44	56.18	50.92	45.66	40.40	35.14	29.88	24.62	19.36	14.10	8.84	3.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1.A.3.t Domestic navigation	114.06	108.79	103.52	98.26	93.00	87.74	82.48	77.22	71.96	66.70	61.44	56.18	50.92	45.66	40.40	35.14	29.88	24.62	19.36	14.10	8.84	3.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1.A.3.u Domestic navigation	114.06	108.79	103.52	98.26	93.00	87.74	82.48	77.22	71.96	66.70	61.44	56.18	50.92	45.66	40.40	35.14	29.88	24.62	19.36	14.10	8.84	3.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1.A.3.v Domestic navigation	114.06	108.79	103.52	98.26	93.00	87.74	82.48	77.22	71.96	66.70	61.44	56.18	50.92	45.66	40.40	35.																	

		PEC according to BR4											% de changement par rapport à BR4																		
		2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050														
Power	BR4																	0.00%	-10.56%	-47.19%	-65.25%	-70.43%	-70.43%	-70.43%	-70.43%	-70.43%	-70.43%	-70.43%	-70.43%	-70.43%	
	CZC		20.00%	15.00%	10.00%	-5.00%	-15.00%	-25.00%	-25.00%	-25.00%	-25.00%	-25.00%	-25.00%	-25.00%	-25.00%	-25.00%	-25.00%	-25.00%	0.00%	9.44%	-32.19%	-55.25%	-75.43%	-75.43%	-75.43%	-75.43%	-75.43%	-75.43%	-75.43%	-75.43%	
	DEG		-25.00%	-15.00%	-10.00%	-5.00%	0.00%	5.00%	10.00%	15.00%	20.00%	25.00%	30.00%	35.00%	40.00%	45.00%	50.00%	55.00%	0.00%	-35.56%	-62.19%	-80.25%	-90.43%	-90.43%	-90.43%	-90.43%	-90.43%	-90.43%	-90.43%	-90.43%	
	DEEP		-5.00%	5.00%	10.00%	15.00%	20.00%	25.00%	30.00%	35.00%	40.00%	45.00%	50.00%	55.00%	60.00%	65.00%	70.00%	75.00%	0.00%	-15.56%	-42.19%	-60.25%	-80.43%	-80.43%	-80.43%	-80.43%	-80.43%	-80.43%	-80.43%	-80.43%	
Industry	BR4		0.00%	-1.82%	-5.90%	-11.98%	-17.44%	-24.32%	-28.85%	-32.15%	-32.15%	-32.15%	-32.15%	-32.15%	-32.15%	-32.15%	-32.15%	-32.15%	0.00%	19.44%	64.38%	110.51%	150.87%	170.87%	170.87%	170.87%	170.87%	170.87%	170.87%	190.87%	
	CZC		10.00%	-4.00%	-20.00%	-35.00%	-40.00%	-40.00%	-40.00%	-40.00%	-40.00%	-40.00%	-40.00%	-40.00%	-40.00%	-40.00%	-40.00%	-40.00%	0.00%	-1.82%	-5.90%	-11.98%	-17.44%	-24.32%	-24.32%	-24.32%	-24.32%	-24.32%	-28.85%		
	DEG		-28.00%	-45.00%	-55.00%	-65.00%	-70.00%	-70.00%	-70.00%	-70.00%	-70.00%	-70.00%	-70.00%	-70.00%	-70.00%	-70.00%	-70.00%	-70.00%	0.00%	8.18%	-9.90%	-31.98%	-52.44%	-64.32%	-64.32%	-64.32%	-64.32%	-64.32%	-68.85%		
	DEEP		-10.00%	-20.00%	-30.00%	-40.00%	-50.00%	-60.00%	-70.00%	-80.00%	-90.00%	-95.00%	-95.00%	-95.00%	-95.00%	-95.00%	-95.00%	-95.00%	0.00%	-29.82%	-50.90%	-66.98%	-82.44%	-94.32%	-94.32%	-94.32%	-94.32%	-94.32%	-99.85%		
Road transport	BR4		0.00%	-1.56%	-27.89%	-43.83%	-58.77%	-70.76%	-78.93%	-84.86%	-84.86%	-84.86%	-84.86%	-84.86%	-84.86%	-84.86%	-84.86%	-84.86%	0.00%	-1.56%	-27.89%	-43.83%	-58.77%	-70.76%	-70.76%	-70.76%	-70.76%	-70.76%	-78.93%		
	CZC		-2.00%	8.00%	5.00%	-22.00%	-21.00%	-21.00%	-21.00%	-21.00%	-21.00%	-21.00%	-21.00%	-21.00%	-21.00%	-21.00%	-21.00%	-21.00%	0.00%	-3.56%	-19.89%	-38.83%	-80.77%	-91.76%	-91.76%	-91.76%	-91.76%	-91.76%	-98.93%		
	DEG		-35.00%	-30.00%	-30.00%	-30.00%	-30.00%	-30.00%	-30.00%	-30.00%	-30.00%	-30.00%	-30.00%	-30.00%	-30.00%	-30.00%	-30.00%	-30.00%	0.00%	-36.56%	-57.89%	-73.83%	-88.77%	-95.76%	-95.76%	-95.76%	-95.76%	-95.76%	-99.93%		
	DEEP		-20.00%	-12.00%	-13.00%	-15.00%	-16.00%	-16.00%	-16.00%	-16.00%	-16.00%	-16.00%	-16.00%	-16.00%	-16.00%	-16.00%	-16.00%	-16.00%	0.00%	-21.56%	-39.89%	-56.83%	-73.77%	-86.76%	-86.76%	-86.76%	-86.76%	-86.76%	-97.93%		
Tertiary	BR4		0.00%	-17.60%	-32.76%	-53.59%	-69.14%	-80.58%	-87.21%	-91.73%	-91.73%	-91.73%	-91.73%	-91.73%	-91.73%	-91.73%	-91.73%	-91.73%	0.00%	-17.60%	-32.76%	-53.59%	-69.14%	-80.58%	-80.58%	-80.58%	-80.58%	-80.58%	-87.21%		
	CZC		-4.00%	-10.00%	-10.00%	-10.00%	-12.00%	-12.00%	-12.00%	-12.00%	-12.00%	-12.00%	-12.00%	-12.00%	-12.00%	-12.00%	-12.00%	-12.00%	0.00%	-21.60%	-42.76%	-63.59%	-79.14%	-92.58%	-92.58%	-92.58%	-92.58%	-92.58%	-99.21%		
	DEG		6.00%	8.00%	15.00%	18.00%	16.00%	16.00%	16.00%	16.00%	16.00%	16.00%	16.00%	16.00%	16.00%	16.00%	16.00%	16.00%	0.00%	-11.60%	-24.76%	-38.59%	-51.14%	-64.58%	-64.58%	-64.58%	-64.58%	-64.58%	-77.21%		
	DEEP		2.00%	4.00%	10.00%	12.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	0.00%	-15.60%	-28.76%	-43.59%	-57.14%	-70.58%	-70.58%	-70.58%	-70.58%	-70.58%	-84.21%		
Residential	BR4		0.00%	-18.48%	-39.45%	-61.94%	-76.54%	-95.60%	-97.18%	-98.08%	-98.08%	-98.08%	-98.08%	-98.08%	-98.08%	-98.08%	-98.08%	-98.08%	0.00%	-18.48%	-39.45%	-61.94%	-76.54%	-95.60%	-95.60%	-95.60%	-95.60%	-95.60%	-97.18%		
	CZC		-6.00%	-8.00%	-6.00%	-12.00%	-12.00%	-12.00%	-12.00%	-12.00%	-12.00%	-12.00%	-12.00%	-12.00%	-12.00%	-12.00%	-12.00%	-12.00%	0.00%	-24.48%	-47.45%	-67.94%	-88.54%	-97.60%	-97.60%	-97.60%	-97.60%	-97.60%	-99.68%		
	DEG		-15.00%	-15.00%	-10.00%	-5.00%	10.00%	18.00%	18.00%	18.00%	18.00%	18.00%	18.00%	18.00%	18.00%	18.00%	18.00%	18.00%	0.00%	-33.48%	-54.45%	-71.94%	-81.54%	-85.60%	-85.60%	-85.60%	-85.60%	-85.60%	-90.18%		
	DEEP		5.00%	10.00%	15.00%	15.00%	15.00%	15.00%	15.00%	15.00%	15.00%	15.00%	15.00%	15.00%	15.00%	15.00%	15.00%	15.00%	0.00%	-13.48%	-29.45%	-46.94%	-61.54%	-77.60%	-77.60%	-77.60%	-77.60%	-77.60%	-93.18%		
Agriculture	BR4		0.00%	-0.30%	-1.79%	-24.76%	-27.21%	-27.76%	-27.88%	-27.89%	-27.89%	-27.89%	-27.89%	-27.89%	-27.89%	-27.89%	-27.89%	-27.89%	0.00%	-0.30%	-1.79%	-24.76%	-27.21%	-27.76%	-27.76%	-27.76%	-27.76%	-27.76%	-27.88%		
	CZC																		0.00%	-0.65%	-56.42%	-67.07%	-80.88%	-89.10%	-89.10%	-89.10%	-89.10%	-89.10%	-99.42%		
	DEG																		0.00%	-51.20%	-76.53%	-83.73%	-90.89%	-99.10%	-99.10%	-99.10%	-99.10%	-99.10%	-109.43%		
	DEEP																		0.00%	-33.96%	-87.70%	-95.17%	-105.14%	-113.93%	-113.93%	-113.93%	-113.93%	-113.93%	-125.22%		
Other	BR4		0.00%	-0.63%	-16.60%	-35.76%	-34.79%	-33.50%	-34.23%	-33.94%	-33.94%	-33.94%	-33.94%	-33.94%	-33.94%	-33.94%	-33.94%	-33.94%	0.00%	-0.63%	-16.60%	-35.76%	-34.79%	-33.50%	-33.50%	-33.50%	-33.50%	-33.50%	-34.23%		
	CZC		6.00%	5.00%	-4.00%	-27.00%	-45.00%	-52.00%	-52.00%	-52.00%	-52.00%	-52.00%	-52.00%	-52.00%	-52.00%	-52.00%	-52.00%	-52.00%	0.00%	5.37%	-11.60%	-39.76%	-61.79%	-78.50%	-78.50%	-78.50%	-78.50%	-78.50%	-86.23%		
	DEG		-35.00%	-40.00%	-35.00%	-45.00%	-54.00%	-54.00%	-54.00%	-54.00%	-54.00%	-54.00%	-54.00%	-54.00%	-54.00%	-54.00%	-54.00%	-54.00%	0.00%	-35.63%	-56.60%	-70.76%	-79.79%	-87.50%	-87.50%	-87.50%	-87.50%	-87.50%	-90.23%		
	DEEP		-15.00%	-15.00%	-15.00%	-15.00%	-15.00%	-15.00%	-15.00%	-15.00%	-15.00%	-15.00%	-15.00%	-15.00%	-15.00%	-15.00%	-15.00%	-15.00%	0.00%	-15.63%	-31.60%	-50.76%	-69.79%	-83.50%	-83.50%	-83.50%	-83.50%	-83.50%	-93.23%		
LULUCF	EEA		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	CZC																		0.00%	1.91%	2.07%	9.31%	6.32%	6.38%	6.38%	6.38%	6.38%	6.38%	6.38%	6.38%	
	DEG																		0.00%	-4.13%	-6.78%	-3.68%	-3.58%	-3.58%	-3.58%	-3.58%	-3.58%	-3.58%	-3.58%	-3.58%	
	DEEP																		0.00%	9.98%	15.49%	20.23%	21.74%	24.22%	24.22%	24.22%	24.22%	24.22%	29.07%		
International aviation	EEA		0.00%	2.91%	15.30%	18.58%	16.53%	8.66%	-0.04%	-8.55%	-8.55%	-8.55%	-8.55%	-8.55%	-8.55%	-8.55%	-8.55%	-8.55%	0.00%	2.91%	15.30%	18.58%	16.53%	8.66%	8.66%	8.66%	8.66%	8.66%	-0.04%		
	CZC		5.00%	-5.00%	-10.00%	-10.00%	-12.00%	-12.00%	-15.00%	-15.00%	-15.00%	-15.00%	-15.00%	-15.00%	-15.00%	-15.00%	-15.00%	-15.00%	0.00%	7.91%	10.30%	8.58%	6.53%	-3.34%	-3.34%	-3.34%	-3.34%	-3.34%	-15.04%		
	DEG		-35.00%	-70.00%	-90.00%	-100.00%	-100.00%	-100.00%	-100.00%	-100.00%	-100.00%	-100.00%	-100.00%	-100.00%	-100.00%	-100.00%	-100.00%	-100.00%	0.00%	-32.09%	-54.70%	-71.42%	-83.47%	-91.34%	-91.34%	-91.34%	-91.34%	-91.34%	-99.04%		
	DEEP		-50.00%	-85.00%	-105.00%	-110.00%	-110.00%	-110.00%	-110.00%	-110.00%	-110.00%	-110.00%	-110.00%	-110.00%	-110.00%	-110.00%	-110.00%	-110.00%	0.00%	-47.09%	-69.70%	-86.42%	-93.47%	-96.34%	-96.34%	-96.34%	-96.34%	-96.34%	-98.04%		

