



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG
Ministère de l'Énergie et de
l'Aménagement du territoire

Luxembourg In Transition

Rapport Phase 1 - Equipe *f(lux)*

AREP

Taktyk

Quattrolibri

Mobil'homme

Institut pour la Transition Environnementale - Sorbonne

Université

4 janvier 2020

Table des matières

Introduction

| | |
|--|-----------|
| 1. ETAT DES LIEUX..... | 6 |
| 1.1. Etat des lieux de l’empreinte GES du Luxembourg | 7 |
| 1.1.1. De l’Accord de Paris aux objectifs de réduction d’émissions | 7 |
| 1.1.2. Partage des efforts et budget carbone..... | 7 |
| 1.1.3. Empreinte carbone..... | 8 |
| 1.1.4. Bassins versants, bassins servants et résilience | 11 |
| 1.2. Etat des lieux de la séquestration carbone au Luxembourg..... | 13 |
| 1.2.1. La métrique de séquestration du carbone | 13 |
| 1.2.2. Estimation de la séquestration nette des surfaces agricoles au Luxembourg..... | 15 |
| 1.3. Etat des lieux des pratiques de mobilité au Luxembourg | 17 |
| 1.3.1. Pour une approche systémique des enjeux de mobilité | 17 |
| 1.3.2. Contexte structurant et pratiques de mobilité au Luxembourg..... | 18 |
| 1.3.3. Effets des tendances sur les défis actuels, synthèse | 23 |
| 2. DES METRIQUES AU PROJET : METHODOLOGIE ET ETUDES DE CAS..... | 25 |
| 2.1. Des métriques au projet : périmètre, rythme et indicateur de suivi de la transition..... | 26 |
| 2.1.1. Définir le périmètre du projet de transition | 26 |
| 2.1.2. Définir le rythme de la transition | 27 |
| 2.1.3. Un principe d’action et une métrique de la transition | 28 |
| 2.1.4. Une approche macroscopique et microscopique..... | 29 |
| 2.2. Première étude de cas : les mobilités domicile-travail | 30 |
| 2.3. Deuxième étude de cas : vers une transition des sols – le paysage capital | 34 |
| 2.3.1. Le sol comme fondation d’un projet territorial pour définir un nouveau contrat entre ville et paysage. .. | 34 |
| 2.3.2. Vers une redéfinition de l’aire géoécologique du Grand-Duché : les terres brunes de la biorégion comme héritage | 34 |
| 2.3.3. Les Bassins versants comme lieux de vie..... | 35 |
| 2.3.4. Les paysages productifs comme laboratoires des transitions | 36 |
| 2.3.5. Vers une mutation d’occupation et d’usages des sols : essai de parcelle laboratoire | 37 |
| 3. SCÉNARISER, SPATIALISER ET PARTAGER LA STRATÉGIE DE TRANSITION | 41 |
| 3.1. Du grand virage à la reconstruction structurelle, les trois phases de la Renaissance écologique | 42 |
| 3.1.1. 2021 : mesures d’amorçage du “virage sur l’aile”, celles qui peuvent être prises et mises en œuvre sans attendre en 0-1 an..... | 43 |
| 3.1.2. 2022-2025 : la bascule de l’appareil de production | 43 |
| 3.1.3. 2026-2030 : la reconstruction structurelle..... | 44 |
| 3.1.4. De la CECA et la CE/Carbone..... | 45 |
| 3.2. La fresque de la Renaissance Ecologique, un outil de partage et de co-construction de la transition..... | 46 |
| 3.3. Vers une cartographie de l’empreinte géo-écologiques des territoires. | 48 |
| 3.3.1. Concurrence des sols, convergence écologique : pour la fabrication du M.O.S de la région fonctionnelle. | 48 |
| 3.3.2. Etude de cas. | 49 |

conclusion

ANNEXES

Introduction

Pour cette première étape, nous avons réuni plusieurs dimensions qui nous semblent essentielles à la réussite de Luxembourg In Transition : la rigueur scientifique, la complexité systémique, la dynamique territoriale et enfin la dimension politique de la mission.

f(x) : la rigueur scientifique.

Nous constituons un socle robuste d'analyse et de mesures, livrable fondamental de notre mission qui vous permet de concevoir la stratégie globale de réduction des émissions, son rythme et ses composantes, en prenant en compte les interactions thématiques et les variantes territoriales. Nous avons choisi d'organiser le champ des données environnementales autour des tonnes CO₂ équivalent (tCO₂e). Ce parti pris nous permet de réunir sous une seule métrique les facteurs qui déterminent la trajectoire de neutralité carbone. Nous détaillons dans ce premier volet du rapport la méthodologie d'analyse, explicitons notre choix de mesurer l'empreinte carbone, et introduisons le niveau de granularité auquel il nous semble nécessaire de travailler : les sociotypes. Nous croisons ici des données liées aux modes de vie (forcément hétérogènes, tant au sein du Grand Duché qu'à l'échelle de la Grande Région), aux facteurs de production et aux données bio-physique du territoire analysé. **Voici donc notre intention : rationaliser et donner à voir ce que convoque spatialement, temporellement et culturellement l'enjeu carbone au sein de la région fonctionnelle.**

f(lux) : la complexité systémique de la Grande Région.

Nous croisons ici l'analyse carbone avec une lecture fine des données écosystémiques à l'échelle du territoire de la Grande Région. Cette approche nous permet notamment de faire apparaître clairement les enjeux liés à la gestion des stocks de carbone, la mitigation des flux et la temporalité de mise en œuvre des mesures. En effet, l'approche écosystémique, centrée sur le vivant, fait apparaître une chaîne de dépendance, des étapes intermédiaires qui doivent avoir été franchies par étapes pour assurer une évolution de la conduite des sols, condition sine qua non pour à la fois réduire les émissions par hectare mais aussi assurer la capacité des sols à jouer leur rôle de régulation des stocks de carbone. En outre, cette lecture écosystémique est le pendant bio-physique de notre analyse des sociotypes : nous travaillons dans ces deux registres à la même échelle granulométrique. Les familles de territoires et de paysages font écho aux familles sociologiques. Nous documentons et analysons l'ensemble de ces données en fonction des spécificités des différentes zones de la Grande Région. In fine, nous croisons des données socio-techniques (pour décrire les trajectoires d'émissions), les données biophysiques (pour décrire les leviers de mitigation des émissions, tant par une approche de flux que par une approche de stock), les données territoriales (pour faire apparaître les différentes déclinaisons de ces mesures, en fonction des composantes de la Grande Région). À l'échelle de ce territoire, l'un des épicycles de l'épopée thermo-industrielle européenne, comprendre et voir le métabolisme du carbone selon un prisme post-anthropocène : dessiner les flux entrants et sortants, décrire les émissions sur la région, analyser les stocks carbone et des flux de séquestration.

flux : la Dynamique territoriale.

L'analyse des données territoriales renforce notre cadre d'analyse systémique, du fait de l'étroite imbrication des facteurs. Poursuivant l'effort méthodologique que nous avons mené sur les métriques environnementales, nous vous proposons de suivre un fil rouge pour relier les différentes dimensions de ce cadre d'analyse : la mobilité. Ce parti-pris nous amène en effet à étendre l'étude classique des modes de transport (le volet « offre » de la mobilité) à l'étude des facteurs de demande et des facteurs de production. Nous résumons cette analyse dans un diagramme d'interaction entre « temps x espaces x usages », et proposons de minimiser des ratios simples (ressources x distance / passagers et ressources x distance / tonnes de fret). La première phase de mesures – les mesures « sans regret »- peuvent et doivent être mises en œuvre au plus vite, avant même de disposer des conclusions de l'étude. « Faire pour dire » est une condition nécessaire pour tenir le rythme de réduction des émissions dans le temps qui nous est imparti. La seconde phase touche à l'appareil de production et à la structure de la demande, pour laquelle nous devons nous appuyer sur les résultats de la phase 2 de l'étude. Les livrables de la troisième phase permettent alors de déployer les mesures au-delà de la masse critique de la population, pour atteindre, in fine, la neutralité carbone de la Grande Région.

(LUX) : Un projet lumineux pour le Luxembourg.

Nous touchons ici à la dimension politique de la mission. L'objectif de neutralité carbone ne peut être tenu qu'à la condition d'une large appropriation des mesures par l'ensemble de la population. Nous proposons les outils et méthodes, que vous pouvez déployer rapidement, auprès de toutes les couches de la population, dans toutes les langues parlées sur le territoire de la Grande Région. Enfin, la fresque de la Renaissance écologique illustre le caractère symbiotique de la révolution en marche et des impératifs systémiques de reconstruction écologique. Plus particulièrement, la renaissance de la relation entre les espaces urbains et ruraux. Les bassins versants de séquestration du carbone offerts par la campagne équilibrent demain les émissions modérées des densités humaines. La cartographie des aires géo-écologiques participera à dessiner et programmer les interdépendances souhaitables et solidaires entre territoires résilients, pour atteindre les objectifs fixés par l'Europe dès 2030.

f(lux) est un clin d'œil à Fluxus, mouvement européen d'art contemporain des années 60, qui associe différentes pratiques artistiques, et marque une rupture avec les enseignements académiques. Véritable laboratoire d'expérimentation, ce mouvement représente surtout une démarche unique qui réunit des individus de tout horizon avec pour projet commun d'écrire la partition du monde de demain.

Notre ambition est de vous permettre de faire du territoire fonctionnel, vaste région vivante, une « banque du carbone », une force motrice de la décarbonation de l'Europe, et de constituer **le Paysage Capital, producteur d'un futur désirable.**

Pour l'équipe f(lux), Raphaël Ménard

PARTIE 1 / **ETAT DES LIEUX**

Comment traduire l'accord de Paris en objectifs de réduction d'émissions à l'échelle du Luxembourg et de sa région fonctionnelle ? Quelle métrique et quel périmètre retenir pour évaluer l'état actuel de leurs émissions, et donc l'effort à accomplir pour parvenir à un territoire « décarboné et décarbonant » ?

Voici quelques-unes des questions auxquelles tente de répondre la première partie de cet état des lieux, afin de s'appuyer sur les métriques pertinentes pour construire le projet de transition et ses indicateurs de suivi associés. Ce premier état des lieux permet également d'identifier les principaux « gisements » d'émissions à réduire pour parvenir à l'objectif de neutralité carbone, et leur poids respectif dans l'empreinte GES globale du Grand-Duché.

Afin de compléter ce diagnostic indispensable à la définition d'un projet de transition, nous avons souhaité développer deux axes de recherche pour venir illustrer et conforter les deux « pieds » sur lesquels devra s'appuyer notre stratégie de transition :

D'un côté la question de la séquestration du carbone dans les sols, dont la compréhension fine est un préalable à toute stratégie de neutralité carbone. Cette question est abordée dans la partie 1.2 avec une note sur la métrique de séquestration du carbone dans les sols, ainsi qu'avec une première estimation du carbone séquestré par les surfaces agricoles à l'échelle du Luxembourg. Ces éléments nous permettront d'appuyer et de préciser une stratégie de transition des sols à l'échelle de la région fonctionnelle en phases 2 et 3, dont nous proposons une esquisse en Partie 2.3.

De l'autre la question des émissions de GES à réduire, avec un focus sur le thème des mobilités, qui constitue à la fois l'un des principaux postes d'émissions de la région fonctionnelle luxembourgeoise, l'une de ses plus grandes spécificités du fait de sa structuration transfrontalière, et probablement aussi l'un des principaux « points durs » de la transition, du fait de l'interdépendance profonde entre le modèle économique de la région fonctionnelle, sa spécialisation territoriale et ses dynamiques de mobilité. Nous en proposons un premier diagnostic en partie 1.3, qui viendra éclairer la stratégie de décarbonation des mobilités que nous esquissions dans la partie 2.2.

1.1. Etat des lieux de l’empreinte GES du Luxembourg

1.1.1. De l’Accord de Paris aux objectifs de réduction d’émissions

Si le Grand-Duché du Luxembourg et par extension la Grande Région précisent par cette consultation leur projet de territoire décarboné et décarbonant, **il est absolument crucial de choisir le bon indicateur et les bons objectifs, car l’urgence de la situation et l’ampleur des transformations nécessaires ne donnent pas le droit à l’erreur**. Faut-il raisonner en émissions territoriales, en fonction des frontières, ou en empreinte finale, quel que soit le pays émetteur ? Faut-il donner un indicateur par personne, ou bien en absolu ? Comment refléter la très grande disparité des émissions en fonction des modes de vie ? Comment calculer les objectifs à atteindre en 2030 et 2050 ?

Malgré sa complexité en tant que phénomène naturel et social, le réchauffement climatique a une cause physique primaire simple : plus la quantité de gaz à effet de serre dans l’atmosphère augmente, moins la terre peut évacuer de chaleur vers l’espace, et plus sa température augmente¹.

L’Accord de Paris a fixé l’objectif de résultat de limiter cette hausse des températures à +2°C voire +1.5°C, à l’échelle globale et par rapport à l’ère préindustrielle². Les cinq années de la période 2015 – 2019 ont déjà atteint une hausse de +1.1 à +1.2°C à l’échelle globale³ et de 2°C en Europe⁴, hausse qui a également été mesurée par la station météorologique luxembourgeoise de Findel⁵.

L’Accord de Paris a également fixé l’objectif de moyens de parvenir au pic d’émissions global le plus vite possible et à la neutralité carbone d’ici la fin du siècle. A cette date, l’humanité devra retirer autant ou plus de dioxyde de carbone de l’atmosphère qu’elle n’en émet⁶.

Le GIEC a par ailleurs étudié plus en détail les scénarios d’émissions compatibles avec l’objectif +1.5°C, et conclut à la nécessité pour cet objectif d’atteindre la neutralité carbone aux alentours de 2050, après avoir divisé les émissions par 2 d’ici 2030, par rapport aux années 2010⁷.

De nombreux pays se sont ensuite appuyés sur ces objectifs pour définir leurs stratégies de réduction des émissions de gaz à effet de serre : **le Luxembourg⁸ et plus récemment les pays de l’Union Européenne dans son ensemble⁹ visent une réduction des émissions de 55% d’ici 2030** (par rapport à 1990 pour l’UE et 2005 pour le Luxembourg), la France et l’Allemagne visent la neutralité carbone d’ici 2050¹⁰.

1.1.2. Partage des efforts et budget carbone

La retranscription directe des objectifs globaux de l’Accord de Paris ou du GIEC à l’échelle nationale ou territoriale a le mérite d’être simple, mais elle est problématique du point de vue de l’équité entre pays, car elle suppose que tous adoptent la même trajectoire de réduction des émissions. L’Accord de Paris précise au contraire qu’il devrait être « appliqué conformément à l’équité et au principe des responsabilités communes mais différenciées et des capacités respectives, eu égard aux différentes situations nationales ».

Des travaux scientifiques récents ont exploré les implications de plusieurs mécanismes de partage équitable des efforts entre pays, selon leurs niveaux de

développement, leurs responsabilités historiques, leurs dynamiques de population ou encore leurs capacités à transformer leurs économies¹¹. Il n'existe pas de solution unique à cette question, qui est avant tout politique, **mais nous proposons dans le cadre de ce travail d'appliquer la méthode « *immediate per capita convergence* », qui alloue les budgets d'émissions de dioxyde de carbone en fonction de la population cumulée d'un territoire, entre une date donnée et 2100.**

Les dynamiques de population sont bien représentées dans cette méthode, et un pays en croissance démographique comme le Luxembourg se verra affecter un budget relativement plus important qu'un pays en décroissance comme l'Allemagne. Il serait également possible d'appliquer cette logique à une échelle infranationale, là encore pour répartir l'effort de manière équitable, selon le dynamisme des différentes régions ou cantons.

Nous utilisons pour ce calcul des budgets d'émissions de dioxyde de carbone calculés à partir du « Emissions Gap Report » de 2020 du Programme de l'Environnement de l'ONU¹², des estimations du niveau d'émissions résiduelles et de séquestrations basées sur les scénarios types P1, P2, P3 et P4 du rapport SR1.5 du GIEC¹³, et les émissions globales 2019 et 2020 estimées par le Global Carbon Project¹⁴. Nous estimons ainsi les budgets à 715 GtCO₂ pour l'objectif +1.5°C, et 1445 GtCO₂ pour l'objectif 2°C. La séquestration cumulée est estimée à 530 GtCO₂ dans les deux scénarios.

Les estimations de population cumulée entre 2021 et 2100 sont issues des données de la publication « World Population Prospects 2019 » de l'ONU¹⁵.

Partant de là, il reste ensuite à déterminer le bon périmètre de comptabilité des émissions à associer à ces budgets, et à déterminer les trajectoires possibles d'émissions pour respecter ces budgets.

1.1.3. Empreinte carbone

Nous proposons de fonder la stratégie de transition sur l'indicateur de l'empreinte carbone, c'est-à-dire l'addition de toutes les émissions de gaz à effet de serre nécessaires aux activités et usages des résidents d'un pays, qu'elles aient lieu sur le territoire national ou non.

Le terme d'empreinte gaz à effet de serre serait donc plus rigoureux que celui d'empreinte carbone, mais nous choisissons de nous appuyer sur ce dernier, déjà très utilisé et bien défini, notamment par le Haut Conseil pour le Climat français¹⁶.

Ce choix de métrique s'inscrit dans un large mouvement d'extension des réglementations et de la comptabilité environnementale vers des analyses de cycle de vie complètes, intégrant la totalité des chaînes d'approvisionnement au calcul des indicateurs. La nouvelle réglementation environnementale des bâtiments française prend par exemple désormais en compte toutes les émissions liées à un bâtiment neuf, de la fabrication des produits qui le composent à sa démolition, sans distinguer l'origine géographique de ces émissions. De nombreuses entreprises étendent désormais leurs bilans carbone aux catégories d'émissions « indirectes », c'est-à-dire nécessaires pour leurs activités mais hors de leur contrôle opérationnel.

Le recours à l'empreinte carbone permet de traiter une question importante, car la retranscription directe des objectifs globaux de l'Accord de Paris à l'échelle territoriale est une fois encore problématique. Elle ne permet en effet pas d'encadrer le phénomène d'imports et de délocalisation des émissions, pourtant déterminant : les pays et les territoires peuvent par ce biais réduire

significativement leurs émissions territoriales sans pour autant faire diminuer les émissions à l'échelle globale. Ce phénomène peut même dans certains cas les faire augmenter, du fait de besoins de transport accrus et de conditions de production moins favorables.

L’empreinte carbone des résidents luxembourgeois est ainsi passée de 17 tCO₂e/pers.an en 1995 à 27 tCO₂e/pers.an en 2018¹⁷, alors que les émissions du Luxembourg ont diminué de 34 tCO₂e/pers.an en 1990 à 17 tCO₂e/pers.an en 2018¹⁸. (En France, l’empreinte carbone est restée stable entre 1990 et 2018, entre 11 et 12 tCO₂e/pers.an¹⁹, alors que les émissions de la France sont passées de 9.4 tCO₂e/pers.an à 6.9 tCO₂e/pers.an²⁰.)

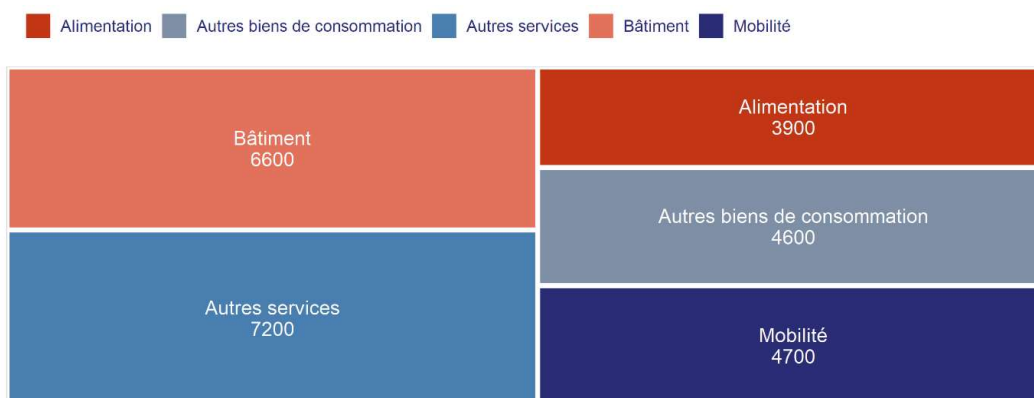


Figure 1 – Répartition de l’empreinte carbone du Luxembourg par poste de consommation finale (Données Exciobase pour l’année 2018, en kgCO₂e/pers.an ; mise en forme f(lux), 2020)

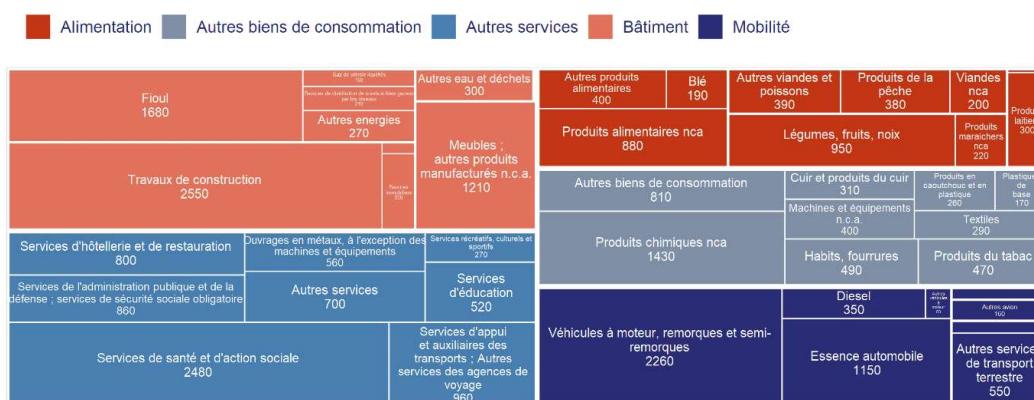


Figure 2 - Répartition de l’empreinte carbone du Luxembourg détaillée par poste de consommation finale (Données Exciobase pour l’année 2018, en kgCO₂e/pers.an ; mise en forme f(lux), 2020 ; voir tableau pleine page en annexe)

Dans ce travail, nous calculons l’empreinte carbone du Luxembourg, de la Belgique, de l’Allemagne et de la France grâce à la base de données Exciobase et au logiciel pymrio (*multi regional input output analysis in python*)²¹. Ce modèle permet l’étude du fonctionnement de l’économie mondiale et de ses externalités environnementales avec une résolution et une profondeur historique inégalée : 44 pays ou régions du monde y sont représentés, produisant et consommant 200 types de produits différents, pour chaque année entre 1995 et 2018.

Nous pouvons ainsi détailler précisément les composantes de l’empreinte carbone, par exemple pour la mobilité qui représente en 2018 4.7 tCO₂e/pers.an, soit 17 % de l’empreinte totale (figures 1 et 2).

Dans chaque pays, les secteurs de l'économie sont définis selon les normes de la comptabilité nationale, avec les secteurs économiques productifs d'un côté, comme l'agriculture ou l'industrie, et les secteurs consommateurs de l'autre, comme les ménages, le gouvernement, et les associations à but non lucratif servant les ménages. Le calcul de l'empreinte carbone part de la consommation de ces derniers, à laquelle est ajoutée la formation brute de capital fixe, comme la construction de bâtiments ou l'achat de machines, et les variations d'inventaires, comptées comme une consommation décalée dans le temps.

Nous pouvons ainsi estimer que l'empreinte directe des ménages s'élève en 2018 à 14 tCO₂e/pers.an en moyenne, soit environ 50 % de l'empreinte totale, ou que le gouvernement représente une empreinte de 3.6 tCO₂e/pers.an, soit environ 13 % de l'empreinte totale (figures 3 et 4).

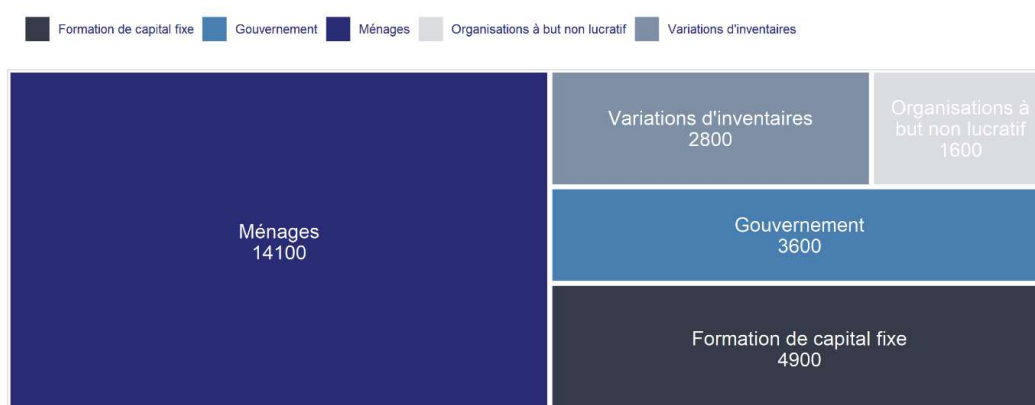


Figure 3 - Répartition de l'empreinte carbone du Luxembourg par secteur (Données Exiobase pour l'année 2018, en kgCO₂e/pers.an ; mise en forme f(lux), 2020)

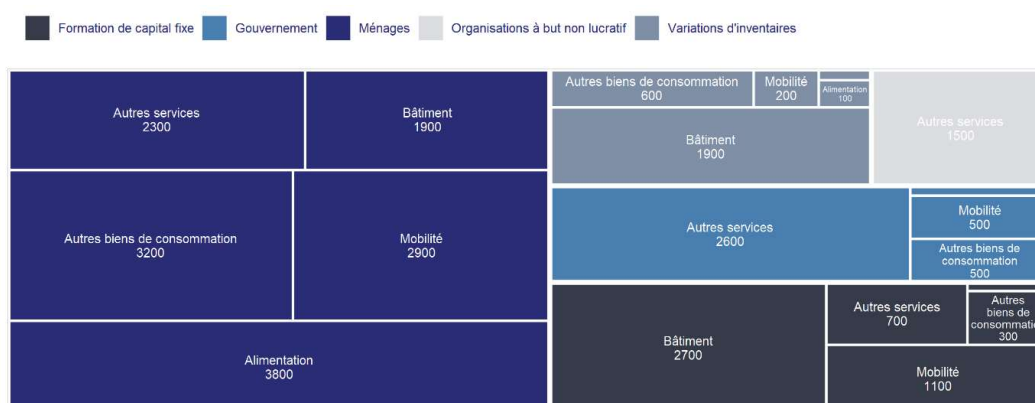


Figure 4 - Répartition de l'empreinte carbone du Luxembourg par secteur et poste de consommation finale (Données Exiobase pour l'année 2018, en kgCO₂e/pers.an ; mise en forme f(lux), 2020 ; voir tableau pleine page en annexe)

Les chiffres présentés ici n'incluent pas les émissions liées aux changements d'affectation de terres, qui sont traités dans la partie séquestration en ce qui concerne le Luxembourg. Il est cependant intéressant de constater à ce stade que la méthode de construction d'une empreinte d'émissions peut tout à fait s'appliquer pour construire une empreinte de séquestrations, qu'il sera nécessaire de développer pour atteindre la neutralité carbone.

L'empreinte carbone est donnée dans ce travail en dioxyde de carbone équivalent, c'est-à-dire en convertissant toutes les émissions de gaz à effet de serre en une

unité commune à l'aide de leurs pouvoirs de réchauffement globaux à 100 ans. Nous utilisons pour ce calcul les facteurs de la méthode IMPACT World+²³.

1.1.4. Segmentation par sociotype: une question de granularité et de pertinence

Nous nous appuyons ici sur les méthodologies que nous avons développées pour la stratégie de Neutralité carbone de Paris (Paris change d'ère, 2016, Ménard, Dossier, Pouchain et al). Nous soulignons l'importance de segmenter les analyses à l'échelle la plus fine possible, pour prendre en compte les valeurs et les pratiques des individus, ce qui permet de dégager des leviers d'action plus pertinents et plus opérants. Nous sommes convaincus de la pertinence de cette segmentation dans le cadre de cette étude, puisque les profils d'émissions diffèrent très notablement entre les résidents du Luxembourg, les frontaliers travaillant au Luxembourg ou les frontaliers travaillant dans leur pays de résidence, comme l'atteste le graphique (cf. figure 23) qui répartit les émissions de la population pour le poste mobilité. En outre, l'expérience de nos calculs pour Paris montre l'extrême disparité des émissions en fonction du niveau de vie et des styles de consommation.²⁴

1.1.5. Bassins versants, bassins servants et résilience

Grâce à des outils comme Exiobase, nous pouvons étudier les bassins versants du Luxembourg ou de produits qui y sont utilisés et consommés, en traçant leurs chaînes de production et d'approvisionnement. L'essence consommée sur la liaison Ettelbruck – Luxembourg aura ainsi peut-être été raffinée en France en utilisant de l'électricité nucléaire, à partir de pétrole extrait en Arabie Saoudite et avec une multitude de consommations intermédiaires de services et de biens.

En faisant le bilan de tous les produits utilisés ou consommés, **nous pouvons ainsi estimer qu'environ 80 % de l'empreinte des résidents luxembourgeois est constituée d'émissions étrangères en 2018.** (Ce même chiffre est passé de 40 à 60 % en France entre 1990 et 2018²⁵.) Ces imports d'émissions sont un révélateur marquant de la dépendance croissante entre les différentes économies, qui ont également été rendues visibles lors des premiers confinements de l'épidémie de la COVID-19 et des difficultés d'approvisionnement sur certains produits.

Un projet de territoire à la fois résilient et compatible avec un monde +1.5°C ou +2°C doit donc faire des choix stratégiques sur ses approvisionnements et ses exportations, ses bassins versants et servants, qui peuvent s'avérer différents de ceux issus d'une vision territoriale classique.

Un territoire capable de produire un service en émettant moins de gaz à effet de serre que ses partenaires commerciaux devrait par exemple développer localement cette activité : ses émissions territoriales augmenteraient, mais les émissions globales diminueraient.

De manière symétrique, toutes les exportations de produits sont une opportunité de faire baisser les émissions globales, si le Luxembourg est capable de les produire en émettant moins de gaz à effet de serre : le territoire peut alors devenir « décarbonant », en plus de devenir « décarboné ».

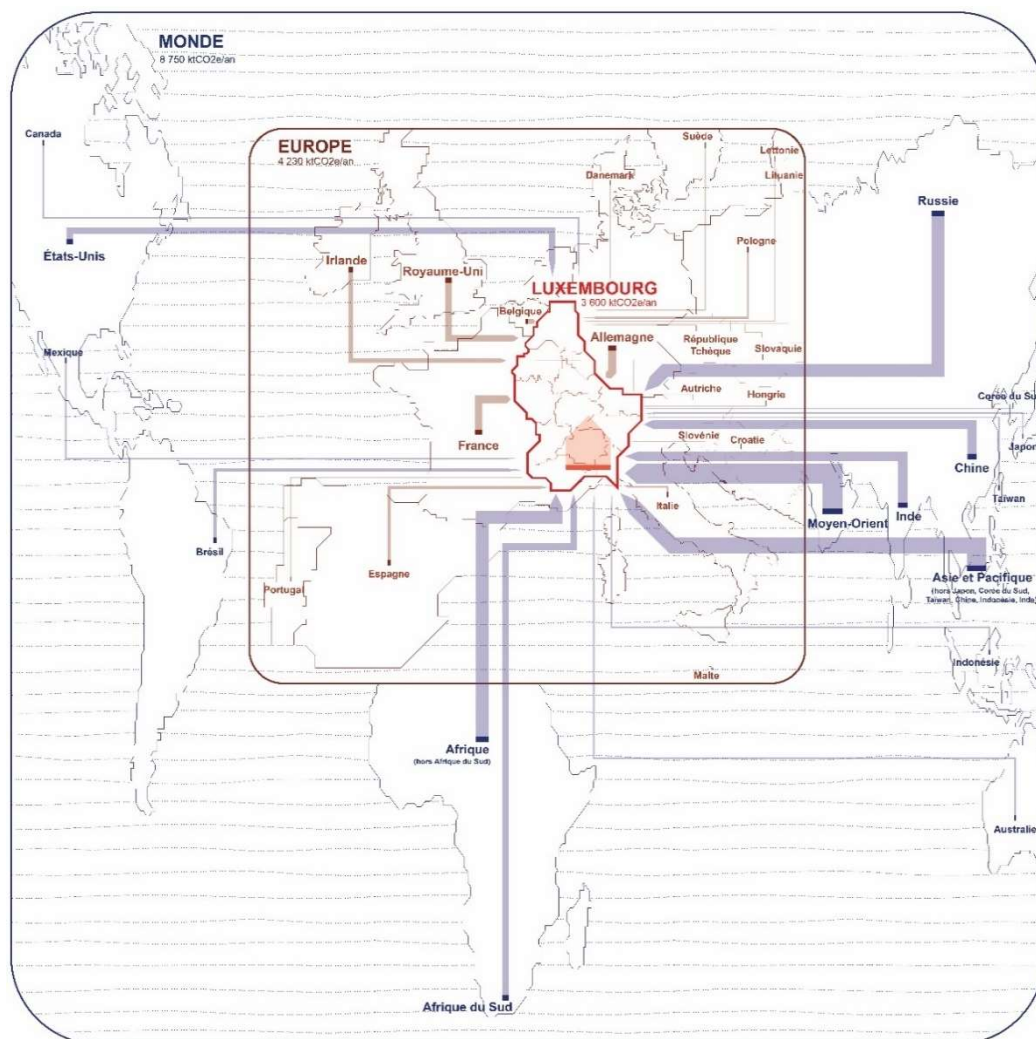
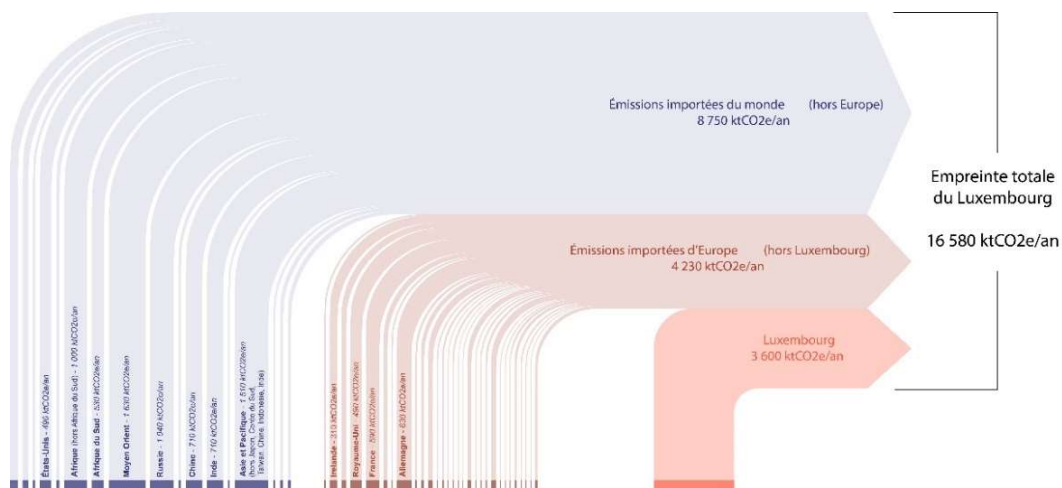


Figure 5 - Répartition de l’empreinte carbone du Luxembourg par pays d’importation (Données Exiobase pour l’année 2018, en ktCO₂e/an ; mise en forme f(lux), 2020)

Pour Luxembourg in Transition, nous avons inventé des graphiques spécifiques, des diagrammes de Sankey spatialisés selon une carte à échelle variable, permettant de visualiser les imports de carbone selon plusieurs emboitements d’échelle : Europe puis les autres pays mondiaux. Avec une ambition didactique, nous tentons de traduire des enjeux complexes et systémiques de façon synthétique. Ce sera notre leitmotiv pour toutes les phases.

1.2. Etat des lieux de la séquestration carbone au Luxembourg

1.2.1. La métrique de séquestration du carbone

A l'échelon mondial, le stock de carbone organique dans les écosystèmes terrestres est environ quatre fois plus élevé que celui présent de l'atmosphère. C'est pour cela que les écosystèmes terrestres sont souvent considérés comme des outils d'atténuation du changement climatique.

Ce stock se répartit pour un quart dans la végétation et pour trois quarts dans le sol. Il est issu de la conversion du CO₂ de l'atmosphère en molécules organiques lors du processus de photosynthèse. Ces molécules peuvent être dégradées immédiatement lors de la respiration végétale, subsister sous forme de végétal vivant ou passer au stade matière morte. Cette matière morte est plus ou moins lentement dégradée par les microorganismes et persiste dans les sols plus ou moins longtemps.

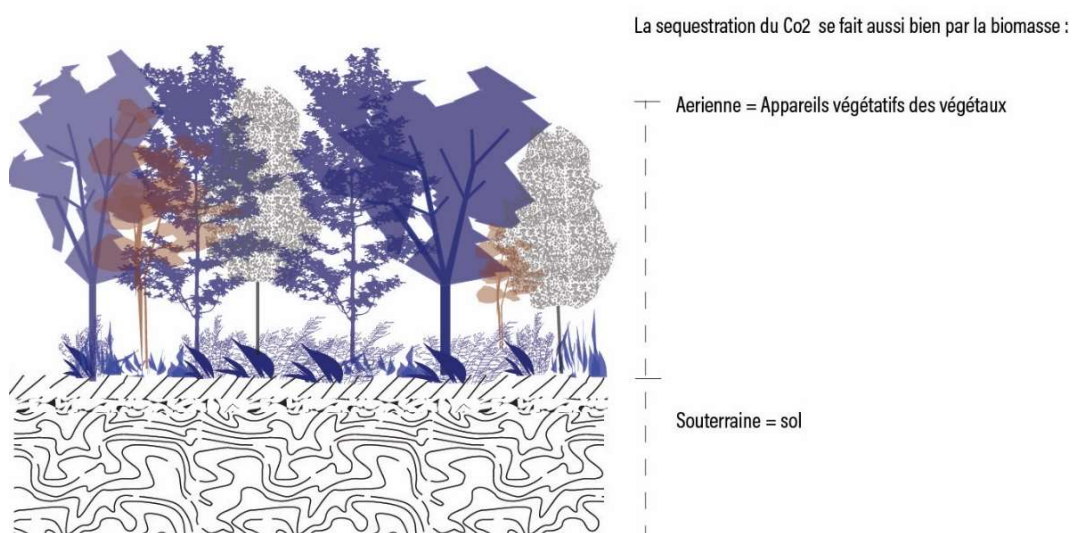


Figure 6 – Les écosystèmes terrestres, socles d'absorption du CO₂ (f(lux), 2020)

Le temps de résidence du carbone organique dans la végétation varie de la dizaine à la centaine d'années : il varie en fonction de la durée de vie des divers organes du végétal (feuilles, branches, troncs, racines), de l'allocation du carbone dans les différents organes, du mode d'exploitation du végétal. Pour établir un bilan carbone, il faut aussi prendre en compte l'utilisation ultérieure de la végétation récoltée (bois de pâte à papier journal vs. bois énergie ou bois matériau par exemple).

Le temps de résidence du carbone organique dans les sols varie de la centaine au millier d'années (figure 7) : il varie en fonction de la concentration du sol en argile (l'argile protège les molécules organiques de leur dégradation par les microorganismes) (figure 8), de la composition chimique de la matière végétale d'origine (feuillus vs. conifères par exemple) et de la profondeur où se trouve le carbone dans le sol (le temps de résidence est plus élevé en profondeur qu'en surface) (figure 7).

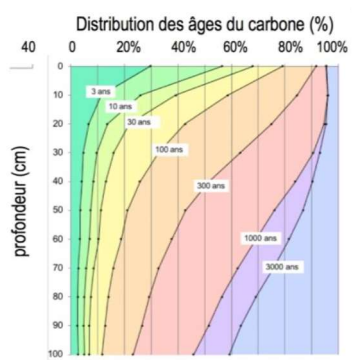


Figure 2-4. Distribution courante des âges du carbone (d'après les données de Balesdent et al., 2018)

Figure 7 (Pellerin et al. 2019)

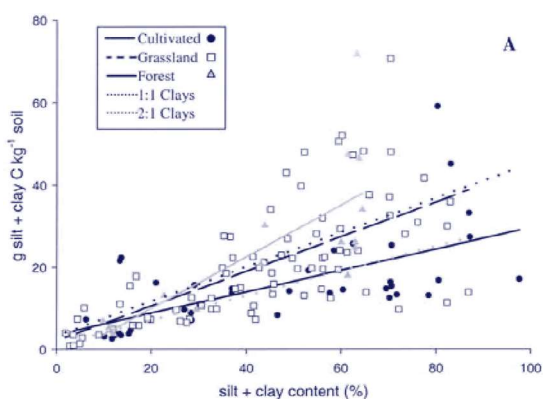


Figure 8 (Six et al. 2002)

Le stock de carbone dans le sol dépend de la biomasse végétale et de la productivité végétale (elle-même fonction de la diversité végétale) ; c'est pour cette raison qu'il tend à augmenter tout au long des successions végétales. Il est en général élevé dans les forêts âgées (figure 9 – en annexe) (mais, dans certains cas, le maximum peut être atteint dans des stades « pré-matures »). Il dépend aussi de la nature du sol, des conditions climatiques, de la gestion du couvert, de la gestion des résidus végétaux.

La biodiversité maximale en forêt est le plus souvent observée dans les stades matures ou pré-matures des successions (Hilmers et al. 2018), ainsi que **dans les couverts présentant une structure de végétation en mosaïque** (coexistence dans l'espace de divers stades de développement). Des travaux récents menés à l'échelon mondial montrent qu'il existe un lien positif entre la diversité des arbres et la productivité (Liang et al. 2016). Les objectifs de maintien-restauration de la biodiversité et de productivité forestière sont compatibles dans la majorité des situations. **Une politique de gestion des couverts végétaux non agricoles, bénéfique pour le climat, la biodiversité et l'économie est scientifiquement concevable.**

En France, dans les 30 premiers centimètres du sol, les stocks les plus élevés (supérieurs à 100 tonnes par hectare) sont observés à haute altitude, sur les sols volcaniques, dans les zones humides. Sous forêt et sous prairies, les stocks les plus fréquents sont de 50 à 85 tC/ha ; ils passent à 40-50 tC/ha dans les sols limoneux et dans les plaines de grande culture (figure 10). Sous vergers ils sont de 50 tC/ha et de l'ordre de 35 tC/ha sous vignes.

| Stock de C organique (tC/ha) | min | moyenne | médiane | max | écart type |
|------------------------------|------|---------|---------|-----|------------|
| Sous forêts | 6,87 | 81,0 | 73,4 | 230 | 35,4 |
| Sous prairie permanente | 18,1 | 84,6 | 78,3 | 309 | 35,0 |
| Sous grandes cultures | 9,92 | 51,6 | 47,9 | 137 | 16,2 |

Figure 2-10. Stocks de C par mode d'occupation du sol, pour l'horizon 0-30 cm (données RMQS, GIS Sol)

Figure 9 (Pellerin et al. 2019) ; à noter que la métrique utilisée est ici celle du carbone et non du CO₂e (facteur de conversion de 44/12 pour passer du premier au second)

Dans les forêts tempérées, le stock de carbone se répartit à peu près également entre le sol et la végétation (figure 11). Dans le compartiment végétation, les stocks les plus élevés sont mesurés dans les sapinières (87 tC/ha,

soit 319 tCO₂e/ha) et les hêtraies (84 tC/ha), et les plus faibles dans les peuplements de Douglas (45 tC/ha, soit 165 tCO₂e/ha).

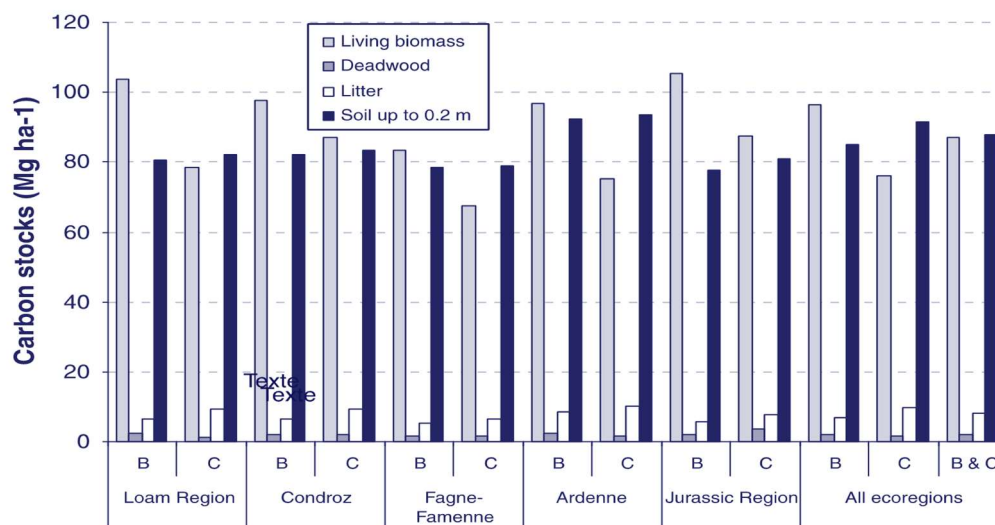


Figure 10 - Données provenant de forêts en Belgique ; B : feuillus ; C : conifères (Latte et al. 2013)

Les changements de couverture végétale, dans le sens du plus naturel vers le moins naturel, induisent des pertes significatives de carbone par les sols (figure 12). Ces pertes sont réversibles si l'on rétablit une couverture végétale plus naturelle (prairie ou culture à la place d'une parcelle d'agriculture intensive ou passage d'une agriculture intensive vers de l'agroforesterie par exemple). **Mais les gains de carbone dans les sols sont toujours beaucoup plus lents que les pertes** ; les gains dans la végétation en cas de reforestation par exemple sont en revanche relativement rapides (mais représentent des stocks moins durables). Nous voyons ici émerger un arbitrage entre vitesse de séquestration (critique pour éviter le pic des émissions) et durée de séquestration (critique pour éviter de décaler le pic des émissions).

Tableau 2-3. Variations des stocks de COS associées aux changements d'usage des sols : méta-analyse de Poeplau et al. 2011

| Transition | Taille de l'échantillon | Durée depuis la transition (années) | Profondeur moyenne de mesure (cm) | Stockage de COS mesuré (kgC/ha/an) |
|-------------------|-------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| Culture → Prairie | 89 | 20 | 23,5 | 920 ± 250 |
| | | 100 | | 590 ± 110 |
| Prairie → Culture | 176 | 20 | 27,1 | -2 080 ± 260 |
| | | 100 | | -420 ± 50 |
| Forêt → Culture | 29 | 20 | 28,5 | -2 310 ± 1 500 |
| | | 100 | | -470 ± 290 |
| Culture → Forêt | 70 | 20 | 28 | 770 ± 360 |
| | | 100 | | 800 ± 370 |
| Prairie → Forêt | 100 | 20 | 38,9 | -170 ± 250 |
| | | 100 | | 240 ± 100 |

Figure 11 (Pellerin et al. 2019)

1.2.2. Estimation de la séquestration nette des surfaces agricoles au Luxembourg

Les données de surface par type de sol sont identifiées grâce au rapport édité en 2016 par le Ministère de l'Agriculture, de la Viticulture et de la Protection du consommateur du Grand-Duché.

Dans un premier temps, notre méthodologie s'appuie sur l'évaluation du stockage carbone de deux classes : terres arables et prairies/pâturage.

Nous considérons ensuite les taux de stockage carbone suivants :

- **0,3 t de carbone/ha/an en moyenne pour les terres arables**, soit 1,1 tCO₂e/ha/an (estimation issue de la référence de séquestration nette observée sur des Techniques Culturelles Simplifiées et présentées dans le rapport INRA 2009 portant sur la Séquestration du Carbone en Agriculture) ;
- **0,5 t de carbone/ha/an en moyenne pour les prairies**, soit 1,8 tCO₂e/ha/an (estimation issue des chiffres de la chambre d'agriculture du Rhône et utilisée dans le rapport méthodologique de l'OREGES de 2016) ;
- **3 t de carbone/ha/an en moyenne pour une forêt gérée**, soit 11 tCO₂e/ha/an (échange net de carbone entre l'écosystème et l'atmosphère par photosynthèse, respiration du sol et respirations végétales ; Valentini et al 2000; Longdoz et al. 2010).

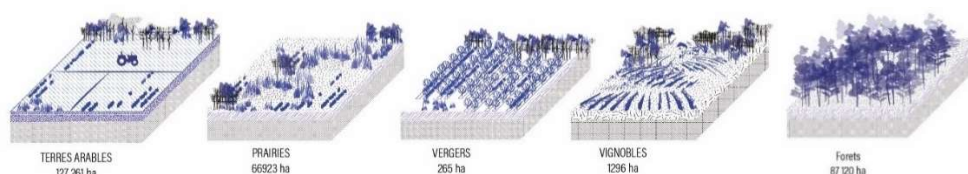


Figure 12 – Estimation des surfaces agricoles à l'échelle du Luxembourg (source : Ministère de l'Agriculture, de la Viticulture et de la Protection du consommateur du Grand-Duché, 2016 ; mise en forme f(lux), 2020)

La séquestration carbone liée à l'agriculture est ainsi déterminée pour chaque classe avec l'équation suivante :

$$\text{Séquestration Carbone} = \text{Surface} \times \text{Stockage Carbone} \times \text{Facteur CO}_2$$

Appliquée aux surfaces agricoles du Luxembourg, nous pouvons ainsi formuler l'estimation suivante (figure 13). Au total, la séquestration nette liée à l'agriculture (terres arables et prairies) est ainsi évaluée à environ 260 ktCO₂/an (soit 0,4tCO₂/habitant/an, ou environ 1,5% de l'empreinte carbone moyenne d'un résident luxembourgeois).

| | Stockage surfacique net Carbone (tC/ha/an) | Surface ha | Stockage Carbone (tC/an) | Stockage Co2 (tCO2/an) |
|----------------------|--|------------|--------------------------|------------------------|
| Terre arables | 0,3 | 127 261 | 38 178 | 139 960 |
| Prairies | 0,5 | 66 923 | 33 461,5 | 122 669,8 |
| Total | | | | 262 629,8 |

Figure 13 – Estimation de la séquestration carbone liée à l'agriculture au Luxembourg (f(lux), 2020) ; à noter que ces taux sont des valeurs moyennes : ils sont plus élevés au début de l'établissement de la forêt ou de la prairie et plus faibles dans les écosystèmes âgés, et tendent vers zéro lorsque les sols et la végétation sont "pleins" et qu'il n'y a plus de séquestration (le maximum est aux alentours de 80 tonnes par hectare de carbone dans les 30 premiers centimètres des sols de la région sous forêt et prairie, de 85 tonnes dans les arbres feuillus, et de 45-50 tonnes dans les arbres conifères).

1.3. Etat des lieux des pratiques de mobilité au Luxembourg

La mobilité est à la fois au cœur des dynamiques économiques, sociales ou culturelles, tout en étant une demande dérivée, c'est-à-dire que l'objectif premier n'est pas de se déplacer mais de réaliser une activité donnée (travailler, se divertir, etc.). Or, comme nous y invitait Kaufmann et *al.*²⁶ il y a déjà presque deux décennies, pour passer de l'intention à l'action, il est nécessaire d'appréhender la mobilité comme un système complexe. Dès lors, il faut étudier sa capacité à produire de nouveaux territoires, résultantes à la fois de l'espace des lieux et de l'espace des flux. **Orienter la mobilité – et les territoires qu'elle forme – vers la soutenabilité nécessite de comprendre les processus complexes de fabrique de ces territoires, afin d'en identifier les éléments structurants, l'évolution de ceux-ci et les pratiques qui en découlent. Cette déconstruction permet alors d'isoler les variables sur lesquels opérer un infléchissement et construire une politique publique.** Ci-dessous, nous recontextualisons la problématique en considérant les spécificités des pratiques luxembourgeoises, comme autant de défis face à un impératif de durabilité. Mis ensemble, ces éléments dessinent le diagnostic général ouvrant la discussion sur les actions à mener.

1.3.1. Pour une approche systémique des enjeux de mobilité

Nous défendons ici une approche systémique, fortement intégrée des enjeux : les facteurs d'émissions sont intrinsèquement liés les uns aux autres, la demande de mobilité étant liée à la nature des emplois et activités de loisirs, elles-mêmes liées à la forme urbaine et à la nature des bâtiments, tandis que les comportements de consommation sont en partie conditionnés par les modes de déplacement (comme en atteste la bascule des commandes vers Amazon et les autres plates-formes de commerce électronique, en période de confinement et de mobilité réduite).

Nous devons cependant échapper au risque d'une présentation où « tout est dans tout » et proposons un fil conducteur pour faire le lien à la fois avec les postes d'émissions, les métriques que nous proposons et les facteurs d'émissions que nous analysons : la mobilité.

Nous abordons en effet la mobilité dans son ensemble, et prenons en compte non seulement l'offre de mobilité (qui évalue traditionnellement l'impact relatif de chaque mode de transport, en fonction du vecteur énergétique, taux de remplissage, mix électrique etc), mais également la demande de mobilité ainsi que les facteurs sous-jacents nécessaires à la réalisation de ces flux de mobilité (nous prenons ici en compte l'énergie grise, le carbone gris et les facteurs de production).

En particulier, **le fait d'aborder la demande de mobilité nous conduit à décomposer les motifs de déplacements, mais aussi les usages et facteurs de mobilité contrainte, qui sont le produit de données socio-économiques, mais aussi territoriales** (y compris dans leur dimension trans-nationale).

De ce fait, nous pouvons identifier une palette de leviers d'action à l'échelle de la Grande Région. Nous sommes en effet en mesure de prendre en compte des variantes fines, à l'échelle du mix énergétique de chacun des pays de la Grande Région, des taux d'équipements en véhicules qui varient d'une partie de la Grande

Région à une autre (zones denses, zones peu denses ; variantes en fonction du pays de résidence).

Nous pouvons également schématiser l'ensemble de ces variables selon des indicateurs simplifiés, qui donnent une continuité aux différentes politiques, qu'elles visent la mobilité du quotidien liée aux activités professionnelles ou la mobilité de loisirs, tout comme les livraisons de biens de consommation ou de produits frais. Nous proposons notamment de minimiser le ratio :

| Pour la mobilité des personnes | Pour le fret |
|---|--|
| $\frac{[ressources] \times [distances]}{[passagers]}$ | $\frac{[ressources] \times [distances]}{[tonnes]}$ |

Dans les deux cas, le poste ressources englobe l'ensemble des matériaux et équipements nécessaires à la fonction de mobilité étudiée :

- Le carburant / l'énergie nécessaire au mode de transport ;
- L'énergie grise nécessaire à la fabrication du matériel de transport ;
- L'énergie grise nécessaire à la fabrication des infrastructures de transport non mobiles (routes, parkings, gares, mais aussi réseau de couverture numérique ou plate-forme de covoiturage etc).

Ces ratios permettent de réconcilier des données liées au mode de transport choisi (le volet offre) et des données liées aux facteurs de demande (distance, nombre de personnes). Le mode de transport choisi ne sera pas uniquement déterminé en fonction de la distance, mais en fonction du nombre de personnes et de la séquence de mobilité dans laquelle se trouve l'utilisateur (s'agit-il d'un simple trajet domicile-travail, ou inclut-il une dépose d'enfants à l'école ? etc.).

1.3.2. Contexte structurant et pratiques de mobilité au Luxembourg

- *Une population en forte croissance à l'échelle du Grand-Duché*

La population du Luxembourg a augmenté de 24 % entre 2008 et 2018 (contre 3 % pour la zone euro) (La Chambre de Commerce du Luxembourg, 2019). Le pays recense 626'100 habitants au 1er janvier 2020 (STATEC, 2020a). 175 nationalités se côtoient sur le territoire et 47,5% des résidents n'ont pas la nationalité luxembourgeoise (La Chambre de Commerce du Luxembourg, 2019). Cette croissance implique donc une pression soutenue sur les offres de logement et sur les infrastructures de mobilité.

- *Une population riche, avec un pouvoir d'achat élevé*

Le Luxembourg affiche le Produit Intérieur Brut (PIB) réel par habitant le plus élevé du monde, 92.600 € en 2017 en nominal, plus de trois fois supérieur à celui de la moyenne européenne (UE 28) ; mais ce chiffre est biaisé à la hausse par le nombre important de travailleurs frontaliers, qui contribuent au PIB du pays sans être comptabilisés dans sa population (La Chambre de Commerce du Luxembourg, 2019). Au niveau européen en 2019, les standards de pouvoir d'achat sont nettement plus élevés au Luxembourg que dans les autres pays de l'UE. Le travail frontalier, c'est-à-dire travailler au Luxembourg, tout en résidant

dans un des pays voisins où le coût de la vie (entre autres l'immobilier) est moindre, est ainsi intéressant financièrement.

- *Un marché de l'emploi plus attractif que ses voisins*

Le Luxembourg est plus attractif que ses voisins sur le plan des salaires, que ce soit pour les salaires minimaux, (2020), le Luxembourg (2'142 €) face à ces voisins belges (1'650 €), allemands (1'600€) ou français (1'550€) ou pour les salaires mensuels moyens (2018), avec 4'630€ au Luxembourg contre 3'360€ en Belgique ou 2'923€ en France. **Cette situation attire beaucoup de travailleurs européens au Luxembourg, notamment en provenance des régions frontalières.**

- *Un raccordement ferroviaire plus performant vers la France que vers les autres partenaires*

A l'extérieur de la Grande Région les liaisons ferroviaires rapides de Luxembourg en direction de Paris et Strasbourg sont de bonne qualité. Les lignes reliant Luxembourg à Bruxelles et aux villes allemandes se placent loin derrière. A l'intérieur de la Grande région les offres ferroviaires connaissent des vitesses relativement lentes. Parmi les liaisons transfrontalières, l'axe Nancy–Metz–Luxembourg est plus fréquemment servi que l'axe Namur–Luxembourg.

- *Une forte saturation du réseau*

Le sud du Luxembourg fait l'objet d'une pression particulière. La convergence du trafic automobile et ferroviaire en direction du sud du pays mène à une congestion qui menace la fluidité au sein de cette zone. **La saturation sur les infrastructures de transport se présente essentiellement aux heures de pointe. La saturation des voies de communication entre l'agglomération de Luxembourg et les régions frontalières est désormais telle qu'elle constitue une entrave au développement du bassin d'emploi** (Pereira Carneiro Filho, 2012). Le stationnement facilité sur les parkings d'entreprise et la voie publique ne contribuent pas à réduire l'utilisation de la voiture, renforcée par une périurbanisation forte dans les territoires frontaliers (développement de la maison individuelle) (Auburtin 2005).

- *Une évasion résidentielle des ménages luxembourgeois et une non-installation des nouveaux ménages*

La périphérie frontalière bénéficie d'une offre foncière et immobilière meilleur marché qu'au Luxembourg. Cela provoque d'une part un phénomène d'évasion résidentielle de la part des ménages luxembourgeois qui résident à l'étranger tout en conservant leur emploi au Luxembourg ; **le prix de l'immobilier, la possibilité de devenir propriétaire ou encore la recherche d'un coût de la vie plus bas en passant la frontière sont les raisons les plus fréquemment invoquées** (Carpentier et al. 2011). Si les ménages luxembourgeois les moins aisés sont davantage tentés par aller s'installer ailleurs, il ne s'agit pas (uniquement) d'exclusion ou de relégation par le prix, car des Luxembourgeois plus aisés y déménagent également pour d'autres raisons (notamment acquisition d'une maison individuelle) (Lord et Gerber 2010). **D'autre part, le coût élevé de l'immobilier constitue également un obstacle à l'installation des salariés étrangers qui cherchent à s'approcher le plus possible du Luxembourg sans toutefois traverser la frontière.** Cela renforce les mouvements pendulaires et entraîne un processus de division fonctionnelle de l'espace qui peut à terme constituer un danger pour la cohésion sociale et territoriale, et un véritable défi en matière de soutenabilité écologique. **Ce décalage fort entre lieu de travail et**

domicile entraîne une augmentation des distances domicile-travail et un usage accru de la voiture (Carpentier et al. 2011).

- *Un très grand nombre de travailleurs frontaliers et une dépendance de l'économie nationale à ceux-ci*

Fin 2019, on dénombrait 203'522 salariés frontaliers contre 239'250 salariés résidents, soit près de 46% des employés du Luxembourg. Dans le détail, les Français représentent toujours la part la plus importante de ces frontaliers : 107.312 travailleurs. Les Allemands (48.241) et les Belges (47.969) suivent. Les frontaliers français, allemands et belges constitueront bientôt la moitié des salariés du Luxembourg. **Le Luxembourg est le deuxième pays d'Europe, après la Suisse, qui accueille le plus grand nombre de travailleurs frontaliers.** Toutes mesures limitant le flux pendulaire auraient donc un impact immédiat et significatif sur l'économie nationale.

- *La création d'une véritable région transfrontalière*

Un enjeu important pour le Luxembourg est de faire en sorte que ces travailleurs frontaliers ne se résument pas uniquement à des travailleurs, mais qu'ils consomment, tissent des liens sociaux, etc. afin de créer une véritable région transfrontalière, au-delà de liens basés uniquement sur des motivations utilitaristes. **Il y a un danger à ce que le Luxembourg (et sa capitale) ne se limite que trop à un espace de travail et ne soit pas suffisamment un espace de vie (loisirs, consommation, relations sociales, etc.) à l'échelle transfrontalière.**

L'exemple de la région trinationale bâloise est à ce titre très intéressant, puisqu'il voit se combiner un nombre très important de travailleurs frontaliers, mais également des relations intenses dans le reste de la vie quotidienne. Les échanges sont nombreux en matière de consommation, de loisirs, ainsi que sur le plan des idées : l'agglomération transfrontalière est un espace auquel les habitants de la région donnent un véritable sens et qu'ils apprécient. A cette forte intégration individuelle correspond également une forte coopération institutionnelle avec un aménagement du territoire coordonnée à l'échelle transfrontalière et un réseau de transports publics transfrontaliers très denses (RER, trams, bus).

- *Une population très équipée en voiture individuelle*

Avec 662 voitures particulières pour 1'000 habitants, le Luxembourg est le pays de l'Union européenne ayant le niveau le plus élevé d'équipement automobile, et ce sans tenir compte de la motorisation des travailleurs frontaliers. La densité autoroutière est l'une des plus élevées au monde, avec 63,8 km d'autoroutes pour 1.000 km²

- *Un usage plus important qu'ailleurs du train, mais pour aller moins loin*

Le Luxembourg est le deuxième pays du continent européen en termes d'emploi du train, ainsi chaque Luxembourgeoise et Luxembourgeois a pris 40 fois le train durant l'année 2019, loin derrière les Suisses, avec 74 fois, mais bien devant l'Allemagne (35) ou la France (19). Par contre, ces mêmes utilisateurs ne sont que douzièmes en termes de distances parcourues en train par personne et dans l'année.

- *Des transports publics gratuits à l'échelle d'un pays*

La gratuité des transports publics pour tous faisait partie en 2018 du programme électoral des trois partis (DP, LSAP et Déi Gréng) qui gouvernent le pays depuis

2013. **La gratuité des transports publics a été introduite le 29 février 2020 sur tous les modes de transports publics nationaux financés par l'État sur le territoire luxembourgeois (CFL, Luxtram, RGT et TICE) ainsi que sur les bus de la Ville de Luxembourg (AVL).** Les billets de 1^{ère} classe sont maintenus. Malgré la gratuité des transports publics au Luxembourg, ces derniers ont une image mitigée. En effet, 54% des Luxembourgeois²⁷ en auraient une image négative ; en Suisse, par exemple, seuls 41% en ont une image négative, en France 56%. En revanche, la voiture est appréciée par plus de 8 Luxembourgeois sur 10.

- *Une mobilité soumise à l'épreuve de la crise sanitaire de 2020*

La crise du Covid-19 a eu et continue d'avoir des impacts majeurs sur la mobilité, les modes de vie et notamment sur les transports publics. En effet, après une très large diminution de leur utilisation durant l'épisode le plus fort de la crise (mars-mai environ), leur utilisation n'a toujours pas réatteint les niveaux d'avant-crise. **Regagner les clients qui ont temporairement abandonnés les transports publics (report vers d'autres modes mais aussi besoins en mobilité plus faible – loisirs, achats, travail, voyages, etc.) sera un enjeu majeur pour les territoires et les opérateurs de transports dans l'optique d'un futur plus durable.**

Il est toutefois utile de regarder en arrière, puisque dans un passé récent, de nombreuses crises ont affecté la mobilité urbaine : des attentats (New York, Paris, Londres, etc.), des épidémies (notamment le SARS à Taiwan et d'autres pays asiatiques), des catastrophes naturelles ou encore des crises économiques (p.ex. USA 2007/2008). D'une manière générale, ces crises ont eu des répercussions sur l'usage des transports publics, parfois très fortes, mais toujours temporaires. En fonction de la crise, la demande a mis de quelques mois (en général) jusqu'à 2 ans (crise économique de 07/08 aux USA) à revenir à son niveau d'avant-crise.

- *Un potentiel élevé de télétravail*

Différentes études ont été menées en 2020 concernant les effets de la crise sanitaire sur les pratiques de mobilité et du travail, notamment par le bureau de sciences sociales Mobil'homme, basé à Lausanne, qui a mené une grande enquête²⁸ par questionnaire entre avril et mai 2020, auprès de 14'886 personnes pour investiguer les changements durables que les mois de restriction allaient pouvoir produire, en matière d'évolution des pratiques à termes mais aussi de rapport aux différents modes. **D'une manière générale, il apparaît que la crise a surtout amplifié et/ou mis en lumière différentes tendances pré-existantes, en matière de télétravail par exemple.** Voici quelques éléments relatifs au télétravail au Luxembourg, en comparaison européenne (figure 15).

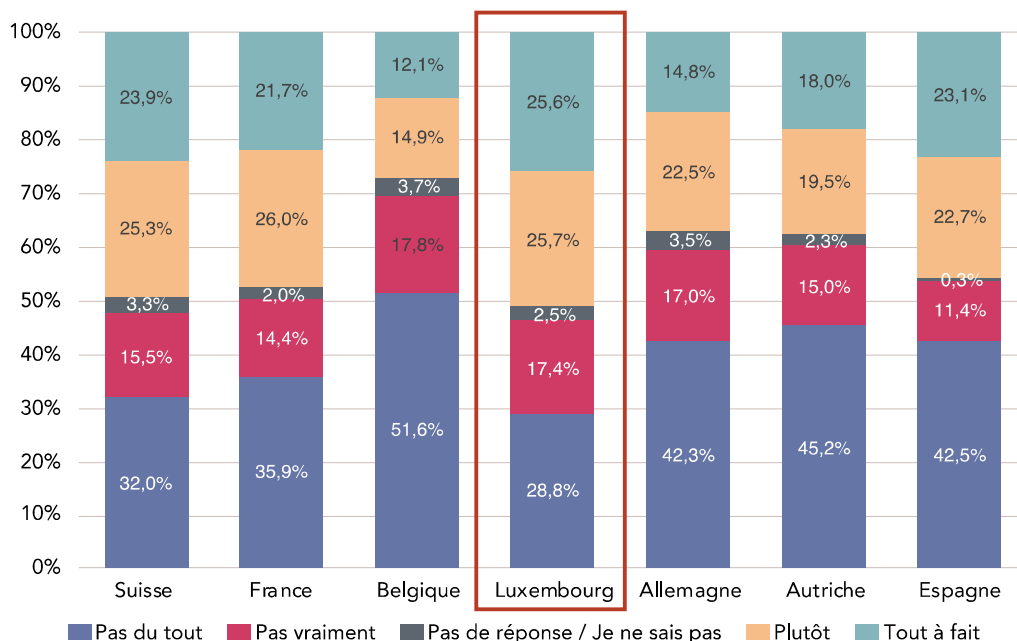


Figure 14 - Compatibilité théorique du travail au télétravail, tous les pays

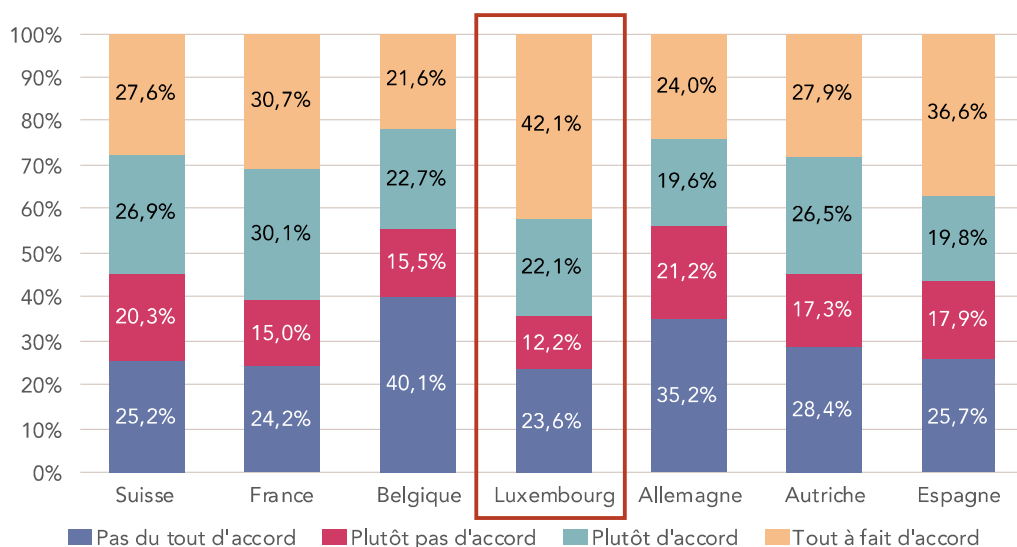


Figure 15 - Volonté d'augmenter le recours au télétravail à l'avenir, tous les pays

Ainsi par exemple, les emplois exercés par des Luxembourgeoises et Luxembourgeois semblent plus facilement réalisables en télétravail, tout du moins partiellement, que dans certains autres pays analysés. Ainsi, **presque un poste sur deux est considéré par la personne qui l'occupe comme totalement ou partiellement réalisable en télétravail. Ceci pourrait avoir un impact fort à terme sur la mobilité professionnelle.** Il est à prendre en note ici que sous Luxembourg ne sont considérés que les personnes travaillant et vivant au Luxembourg.

Et d'ailleurs, l'appétence au télétravail est particulièrement élevée au Luxembourg (figure 12), ce qui veut dire qu'il s'y trouve à la fois un gisement et une volonté personnelle de l'activer.

1.3.3. Effets des tendances sur les défis actuels, synthèse

A l'avenir au Luxembourg, une fois l'épidémie passée, il est probable que la demande en mobilité continue d'augmenter, tout en prenant des formes plus hybrides. Le trafic par vagues et creux, selon les heures de pointe, devrait progressivement se lisser mais pour appuyer une forte pression sur les réseaux en tout temps. **Les évolutions de tendances appliquées au Luxembourg laissent entrevoir une possible augmentation des distances parcourues et un établissement résidentiel de plus en plus lointain, même si en contrepartie les déplacements domicile-travail seront réalisés moins souvent** (développement du télétravail). Ce phénomène devrait continuer à renforcer la périurbanisation en cours dans la région transfrontalière.

La lecture des tendances fait aussi apparaître un risque de décalage de plus en plus aigu des pratiques et des modes de vie entre les habitants urbains – de plus en plus multimodaux et renonçant à la voiture – et les travailleurs frontaliers (voire en provenance des périphéries luxembourgeoise) – restant massivement dépendant de l'automobile. Cela pourrait conduire à une tension sociale de plus en plus forte, comme il a été possible de l'observer dans d'autres villes économiquement fortes vivant sous une forte pression frontalière, telles Genève ou Chiasso en Suisse, menant dans ces derniers cas à des mouvements citoyens puis politiques anti-frontaliers (Dubois 2019).

Globalement, l'évolution possible des pratiques de mobilité, à la lecture des tendances et des défis tels que présentés, ne semble pas aller d'elle-même vers des pratiques globalement plus soutenables. En effet, des interventions fortes à l'échelle locale, nationale, mais aussi à l'échelle transfrontalière sont indispensables pour limiter le recours à la voiture – entre autres pour les trajets domicile-travail – et la périurbanisation, source entre autres d'artificialisation des sols et d'allongement des distances parcourues. Sur le plan de la mobilité, cela pourrait notamment passer par le développement des transports publics (transfrontaliers), de voies de mobilité douce, de la limitation du stationnement ou de la mise en place d'autres outils comme le *mobility pricing*, le péage urbain, une stratégie multimodale basée sur la mobilité de partage à l'échelle de la Grande Région, etc.

Enfin, une stratégie axée sur le management de la demande apparaît indispensable pour répondre aux objectifs de décarbonation du Grand-Duché et au rythme imposé par cette transition. Cela pourrait passer par des leviers tels que la facilitation du télétravail (en s'efforçant de contenir son potentiel effet rebond de hausse de la distance domicile-travail), le rééquilibrage du partage de l'espace public au profit des modes doux et partagés (voies cyclables, voies bus, voies covoiturage sur autoroutes...), la réduction des vitesses sur les infrastructures routières (en ville et sur voies express), ou encore une politique de hausse de l'offre de logements abordables au Luxembourg, pour tenter de limiter la tendance "naturelle" à l'étalement urbain.

**PARTIE 2 /
DES METRIQUES
AU PROJET :
METHODOLOGIE
ET ETUDES DE
CAS**

Comment définir un périmètre pertinent pour le projet de transition ? A quel rythme et selon quel principe d'action doit-on diminuer les émissions de GES du Luxembourg et de sa région fonctionnelle afin d'atteindre les objectifs fixés par l'accord de Paris ?

Comment traduire ces objectifs en stratégie opérationnelle pour réduire les émissions de GES tout en renforçant le potentiel de séquestration du carbone de la région fonctionnelle luxembourgeoise ?

Dans cette seconde partie, nous proposons une méthode pour adresser ces questions et passer du choix des métriques pertinentes, présentée en partie 1, à la définition d'un projet de transition.

En partie 2.1, nous explorons tout d'abord la question du périmètre de projet, avant d'aborder celle du rythme à adopter pour la transition, et du choix d'incitateur adéquat afin de fournir à la maîtrise d'ouvrage un véritable outil d'évaluation de la mise en œuvre de la transition et d'alerte sur les inévitables besoins d'ajustements à réaliser par rétroaction.

Puis nous esquissons la mise en application de cette méthode au travers de deux études de cas :

Une étude de cas des mobilités domicile-travail (partie 2.2), appuyée sur la construction d'une modélisation simplifiée du « système Luxembourg ». En isolant les différents facteurs de ce véritable écosystème, ce modèle nous permettra lors des phases ultérieures d'affiner notre stratégie de transition en répondant à des questions telles que : les objectifs de neutralité carbone de la région fonctionnelle luxembourgeoise sont-ils compatibles avec les projections de hausse continue de la demande de mobilité transfrontalière ? Quels scénarios de transition possibles pour respecter le rythme de transition qui s'impose à nous, et à quelles conditions de résultats pour chaque levier d'action ? Quel « reste-à-vivre » carbone « hors mobilité » en fonction des scénarios retenus ?

Une étude de cas de la transition des sols (partie 2.3), destinée à concilier renforcement de leur potentiel de séquestration carbone et résilience des écosystèmes et de la Grande Région dans son ensemble, en s'appuyant sur une compréhension fine des grands éléments structurants des paysages (hydrographie, géoécologie...), de leurs usages existants et de leurs trajectoires d'évolution possibles.

2.1. Des métriques au projet : périmètre, rythme et indicateur de suivi de la transition

2.1.1. Définir le périmètre du projet de transition

Comment tracer le périmètre d'un projet de transition du territoire du Luxembourg, avec de multiples dimensions, spatiales, temporelles, politiques, techniques ou encore sociales ?

Nous proposons d'adopter une méthode systémique pour aborder cette question complexe, appuyée sur un guide de lecture du territoire, la matrice des 24 chantiers de la fresque de la Renaissance Écologique²⁹. Il s'agit tout d'abord de cartographier le système, c'est-à-dire de décrire et de lier entre eux les objets physiques et conceptuels qui le constituent : résidents, usages, comportements, routes, forêts, produits alimentaires, énergies, déchets, parts modales de transport, temps de travail et de télétravail, émissions de gaz à effet de serre... Nous qualifions tous ces objets d'acteurs du système, c'est-à-dire d'entités qui agissent et interagissent pour former le comportement du système.

Dans ce réseau d'acteurs, le territoire physique, les sols, les infrastructures et les bâtiments de la région fonctionnelle Luxembourgeoise nous intéressent particulièrement, parce qu'ils sont l'objet central de cette consultation urbano-architecturale et paysagère, et définissent donc nos points d'intervention dans le système, notre **périmètre d'action**. Le reste du système est inextricablement lié à ce premier périmètre, qu'il soit géographique, technique ou social, et constitue notre **périmètre de réaction**, là où se déploie ce qui dépend et ce dont dépend le territoire physique luxembourgeois.

Les émissions et les séquestrations de gaz à effet de serre, qui émergent de l'interaction d'innombrables autres acteurs, luxembourgeois ou non, sont également particulièrement suivies, pour pouvoir proposer une transition rapide vers un état particulier et inédit du système : la neutralité carbone. Ce suivi nous donne notre **périmètre comptable**, global, qui inclut le Luxembourg, la Grande Région et le reste du monde, basé sur des métriques telles que l'empreinte carbone.

Le projet de territoire naît de la mise en relation de ces périmètres, et nous explorons pour cela les évolutions prévues ou possibles des caractéristiques des différents acteurs, ainsi que les rythmes de ces transformations : nombre et localisation des habitants et des emplois, parc de véhicules électriques, surfaces d'agroforesterie...

Quand nous étudions par exemple la mobilité domicile-travail, nous traitons du nombre de locaux d'entreprises et donc d'emplois localisés au Luxembourg (périmètre d'action), nous estimons l'origine des employés (périmètre de réaction), et nous calculons les émissions de gaz à effet de serre des moyens de transports (périmètre comptable). Si l'on étudie la question d'une voie de covoiturage initiée par le Grand-Duché, entre le Luxembourg et la France, nous travaillons sur son tracé au Luxembourg (périmètre d'action) et en France (périmètre de réaction), sur le taux de remplissage des véhicules (périmètre de réaction) et les baisses d'émissions de gaz à effet de serre (périmètre comptable).

2.1.2. Définir le rythme de la transition

L’empreinte carbone nous donne le point de départ de la trajectoire, et le budget carbone fixe les émissions cumulées d’ici 2100. L’application de la méthode « *immediate per capita convergence* » donne aux résidents luxembourgeois un budget de 60 MtCO₂ pour l’objectif +1.5°C et 120 MtCO₂ pour l’objectif +2°C, entre 2021 et 2100. Ces budgets représentent respectivement 6 et 11 années d’émissions au niveau actuel des émissions des résidents luxembourgeois, avant épuisement du budget et donc un passage nécessaire mais peu probable à zéro émission en une année.

Pour respecter ce budget carbone, nous proposons une trajectoire à taux d’effort constant, ce qui signifie que la baisse d’émissions d’année en année atteint le même niveau, de -20%/an pour l’objectif +1.5°C et -9%/an pour l’objectif +2°C. La trajectoire converge à terme vers un niveau d’émissions résiduel que l’on considère incompressible, déterminé à partir des scénarios P1, P2, P3 et P4 du rapport SR15 du GIEC³⁰ et alloué de manière égale à chaque personne, selon les projections de population mondiales de l’ONU³¹.

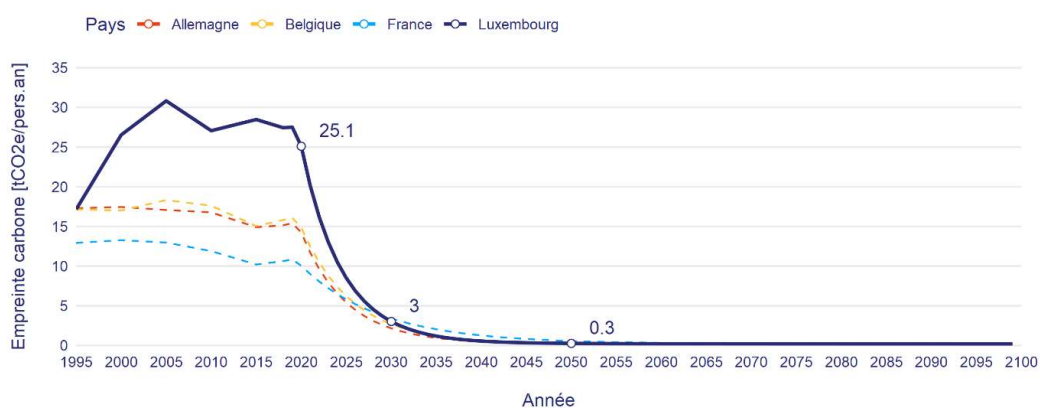


Figure 16 – Evolution de l’empreinte GES par personne dans un scénario 1,5°C (f(lux), 2020)

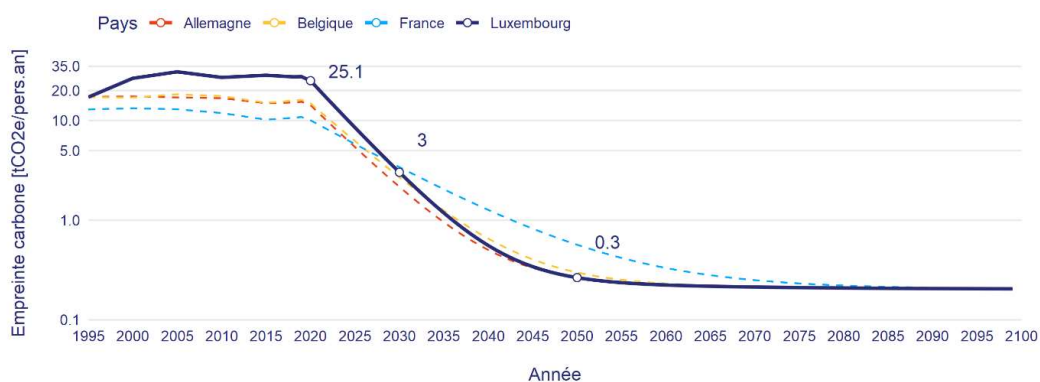


Figure 17 – Evolution de l’empreinte carbone par personne dans un scénario 1,5°C selon une échelle logarithmique : une droite signifie que le taux de baisse des émissions est constant. (f(lux), 2020)

Ce type de trajectoire est basé sur un principe de « rendements décroissants marginaux » des actions de baisse des émissions, et sur la prise en compte d’une certaine inertie dans les systèmes sociaux et techniques. Dans une transition, les premiers gains peuvent en effet se mettre en place rapidement, comme le développement du covoiturage, alors que les dernières actions peuvent

être beaucoup plus difficiles et longues à se déployer, comme la fabrication de batteries électriques zéro carbone, ou encore la production de gaz de synthèse zéro carbone pour compléter la production d'énergies renouvelables variables.

Ces rythmes de décarbonation sont en rupture complète avec la stabilité actuelle de l'empreinte carbone au Luxembourg ou dans les pays limitrophes : ils correspondent à une baisse de -90% d'ici 2030 et 99.9% d'ici 2050 pour le scénario +1.5°C, et une baisse de -60% d'ici 2030 et 95% d'ici 2050 pour le scénario +2°C.

Dans un scénario +1.5°C, l'empreinte des résidents luxembourgeois devrait donc passer de 25 tCO₂e/pers.an en 2020, estimation qui intègre l'effet de la COVID-19, à 3 tCO₂e/pers.an en 2030 puis 0.3 tCO₂e/pers.an en 2050.

Dans un scénario +2°C, l'empreinte serait de 9 tCO₂e/pers.an en 2030 puis 1.4 tCO₂e/pers.an en 2050.

Une telle ambition permet de fixer un principe d'action simple pour le projet de territoire : **l'empreinte gaz à effet de serre doit baisser le plus rapidement possible, dans la limite de ce qui est socialement, techniquement et physiquement possible.**

En première approche, nous faisons ici l'hypothèse simplificatrice que le taux d'effort sur le dioxyde de carbone s'applique également aux autres gaz à effet de serre, hypothèse qui pourrait être améliorée dans les phases de projet suivantes. Le rapport SR1.5 du GIEC indique en effet qu'une réduction de l'ordre de 50% pour le méthane (CH₄) et de 25% pour le protoxyde d'azote (N₂O) à l'horizon 2050 seraient suffisantes avec l'objectif +1.5°C, si les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) étaient suffisamment réduites. La différence serait surtout concentrée sur le secteur agricole et l'alimentation, qui sont les principaux concernés par ces deux gaz à effet de serre.

Côté séquestrations, nous considérons à ce stade une unique trajectoire à l'échelle mondiale, elle aussi allouée aux résidents des pays avec la méthode « *immediate per capita convergence* » : elle atteint 0.4 tCO₂/pers.an en 2050, puis 1.2 tCO₂/pers.an.

2.1.3. Un principe d'action et une métrique de la transition

L'urgence climatique impose un principe d'action maximaliste : diminuer les émissions le plus rapidement possible, dans la limite de ce qui est socialement, techniquement et physiquement possible. **Nous proposons donc une méthode pour explorer cette limite basse des émissions, évaluer le projet de territoire par rapport à elle, et identifier les transformations nécessaires du système pour se diriger vers elle.**

Cette limite ne peut bien sûr pas être déterminée par le calcul, puisqu'il appartient à toutes les parties prenantes du système Luxembourg de débattre et de négocier ce qu'il est possible de changer, à quel point et à quelle vitesse. C'est bien un outil d'exploration et d'évaluation de scénarios que nous proposons, et pas un plan unilatéral de transition.

En parallèle de la cartographie qualitative du système et de ses acteurs, **nous développons donc de manière itérative un modèle numérique quantitatif du système, le modèle « *f(LUX)* ».** Sans avoir la prétention de représenter parfaitement la réalité, il alimente notre compréhension de l'état des lieux, en intégrant les données qui le décrivent. Il nous permet également d'explorer les liens entre acteurs et la dynamique du système qui en résulte, notamment du point de vue de l'empreinte carbone.

Ce modèle ainsi que toutes les données qui l'alimentent seront rendues publiques à la fin de la consultation, dans une démarche scientifique de reproductibilité, de vérification et d'appropriation de notre méthode et de nos résultats.

À l'aide du modèle, nous pouvons par exemple lier le nombre d'emplois au Luxembourg et les émissions de gaz à effet de serre de la mobilité domicile-travail, par l'intermédiaire de nombreux autres acteurs du système, économiques, urbains, sociaux ou techniques : localisation de l'habitat au Luxembourg et dans les pays frontaliers, parc de véhicules électriques, mix de production électrique, comportements vis-à-vis du covoiturage...

Chacun de ces acteurs a un état actuel et des états alternatifs possibles, qui sont potentiellement liés aux états d'autres acteurs. **Nous pouvons donc construire de nombreuses versions du système en combinant les états possibles des acteurs**, et estimer la valeur de nos métriques pour chacune de ces versions. **Trois versions du système nous intéressent plus particulièrement : l'état actuel des choses, ou après projet, le meilleur état possible et le pire état possible**, la notion de meilleur et de pire étant relative à une métrique, l'empreinte carbone par exemple.

Nous proposons alors de mesurer la performance d'un projet ou d'un état des lieux, c'est-à-dire d'une version du système, de manière relative, en fonction de ces trois versions. Pour une métrique qu'il faut minimiser, comme l'empreinte carbone, elle se calcule de la manière suivante :

$$P = 1 - \frac{M_{projet} - M_{min}}{M_{max} - M_{min}}$$

Avec P la performance du projet, M_{projet} la valeur de la métrique dans la version projet, M_{min} et M_{max} les valeurs de la métrique dans la meilleure et la pire version. La performance de la pire version est de 0 %, la performance de la meilleure version est de 100 %, et la performance du projet est comprise entre ces deux valeurs.

Avec cette métrique, il ne s'agit plus de diminuer les émissions de 10% chaque année mais de faire tout ce qu'il est possible de faire chaque année pour déplacer l'état du système et des acteurs vers la meilleure configuration possible.

2.1.4. Une approche macroscopique et microscopique

Les travaux de prospective à l'échelle territoriale sont notoirement difficiles à faire atterrir dans l'action concrète, notamment parce qu'ils s'appuient sur des représentations du monde basées sur des catégories trop agrégées. Ils peuvent ainsi proposer d'étudier « la population », ou « les logements », et calculent des métriques avec cette résolution, ce qui ne permet pas de comprendre la diversité des situations réelles. Ils se coupent ainsi d'une capacité à segmenter ces situations par sous-catégories, à formuler des stratégies différenciées et à prioriser les actions pour plus d'efficacité.

L'empreinte carbone moyenne d'une population est par exemple un bon point de départ, mais elle doit être complétée par l'analyse de la distribution de ces empreintes dans la population. En France, la moitié de l'empreinte nationale est liée à 20% de la population, alors que la moitié de la population est liée à 50% de l'empreinte nationale³² : les modes d'action pour la réduction des émissions ne peuvent absolument pas être les mêmes pour tous les publics.

La carte ne sera jamais le territoire, et nous ne pourrons jamais avoir une compréhension parfaite de toutes les situations individuelles. Nous proposons cependant de pousser le plus possible leur compréhension, notamment au niveau social, et de différencier les empreintes carbone selon les caractéristiques des ménages et des personnes : âge, catégorie socio-professionnelle, lieu de résidence...

2.2. Première étude de cas : les mobilités domicile-travail

Nous proposons une première application de notre méthode de construction d'un projet pour la transition du territoire du Grand-Duché, en nous intéressant à la problématique de la mobilité domicile-travail.

Nous choisissons volontairement un objet d'étude avec un périmètre de réaction qui s'étend au-delà des frontières, et touche l'empreinte carbone de non-résidents, pour illustrer la pertinence de notre méthode pour l'étude du système Luxembourg dans toute sa complexité. Il touche également à de nombreuses questions de localisation de l'habitat et de l'emploi que nous n'abordons pas dans cette première phase, mais qui pourront être développées lors des phases ultérieures.

De plus, il est pertinent de s'intéresser à ce poste car les émissions liées à ce motif particulier de mobilité sont par ailleurs particulièrement élevées d'après nos calculs, avec une moyenne estimée à 1710 kgCO₂e/pers.an et 10 % de personnes à plus de 4000 kgCO₂e/pers.an. Ces niveaux d'émissions sont totalement incompatibles avec les objectifs de réduction d'émissions 2030 et 2050.

Nous avons donc développé une première version du modèle « f(lux) », à partir d'une exploration des acteurs du système liés aux déplacements domicile-travail. Il se base sur les acteurs et les variables suivantes :

- *Economie et urbanisme*
 - Nombre d'emplois au Luxembourg
 - Taux de frontaliers
 - Origine des frontaliers
 - Distances par liaison
 - Parts modales selon la distance
- *Usages*
 - Intensité du télétravail
 - Taux de remplissage des véhicules
- *Technologie*
 - Parts des différentes technologies de véhicules
 - Consommation d'énergie des véhicules
 - Intensité GES des énergies
 - Intensité GES de la fabrication des véhicules

Les hypothèses prises pour ces différentes variables sont indiquées en annexe de ce document.

Pour chacune d'entre elles, un état des lieux a été établi et des états possibles ont été formulés, à partir des données disponibles ou bien sur la base d'hypothèses. Ont donc été intégrées, par exemple, les projections de population de Statec à 2060³³, les résultats de l'étude sur le télétravail au Luxembourg³⁴, les résultats de l'étude Modu2.0 sur les distances parcourues et les taux de remplissage des véhicules³⁵, l'intensité carbone des carburants de la base carbone de l'ADEME³⁶...

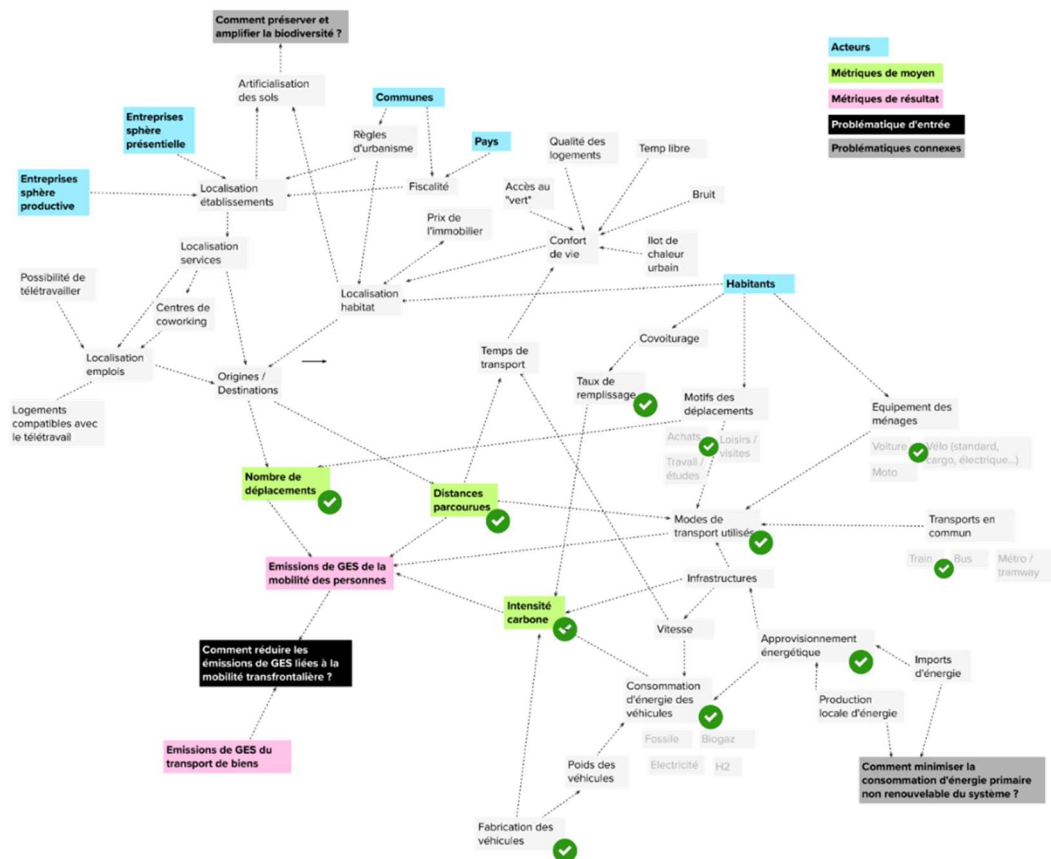


Figure 18 - Cartographie du système depuis l'angle de la mobilité domicile-travail (f(lux), 2020)

D'après cette première modélisation, les émissions de la mobilité domicile-travail s'élèvent à 750 ktCO₂e/an, avec une moyenne pour les 440 000 employés au Luxembourg de 1710 kgCO₂e/pers.an. Cette empreinte par personne pourrait être de 190 kgCO₂e/pers.an dans la meilleure version du système, et de 2 050 kgCO₂e/pers.an dans la pire version du système, ce qui correspondrait à une performance de l'état des lieux de 18 %. Ces chiffres sont bien sûr complètement dépendants des états possibles que l'on fixe aux différents acteurs du projet, sujet qui sera au cœur du projet de territoire et de sa stratégie.

Le modèle permet par ailleurs de déterminer l'effet de l'évolution d'un des acteurs du système, ou de plusieurs d'entre eux, à la fois de manière globale et de manière détaillée pour les différentes sous-populations. Nous pouvons par exemple estimer l'effet d'augmenter le recours au covoiturage, avec un nombre de passagers moyen qui passerait de 1.2 à 1.6 personnes (la performance passe à 33%), ou encore de l'augmentation de la part de frontaliers de 46% à 66% (la performance passe à 0%), puis étudier l'effet combiné de ces changements (la performance passe à 19%).

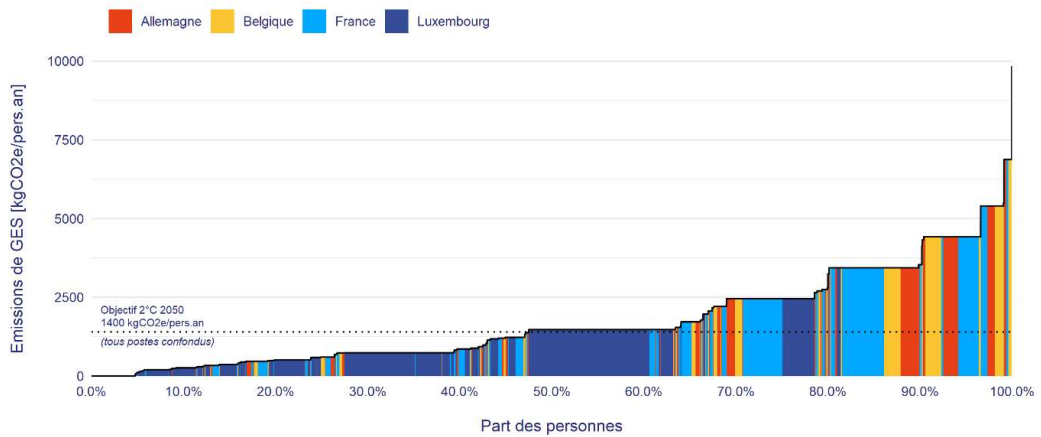


Figure 19 - Estimation des émissions de gaz à effet de serre liés à la mobilité domicile-travail. Postes de consommation d'énergie et fabrication des véhicules, pour toutes les personnes ayant un emploi au Luxembourg. (f(lux), 2020)

Derrière ces chiffres globaux, le modèle fournit des informations importantes sur la distribution des émissions dans la population étudiée, et révèle notamment qu'un quart des personnes est lié à plus de la moitié des émissions, quand la moitié des personnes est liée à un quart des émissions : certaines personnes qui ont la chance de pouvoir marcher ou prendre leur vélo n'ont pas d'empreinte, quand certains frontaliers peuvent avoir des empreintes de plus de 5000 kgCO₂e/pers.an. **Ces données seront utiles pour définir des stratégies segmentées selon les caractéristiques de ces différentes sous population, qui n'ont pas du tout la même expérience du même motif de mobilité et ne peuvent donc pas être traitées par des solutions à « taille unique ».**

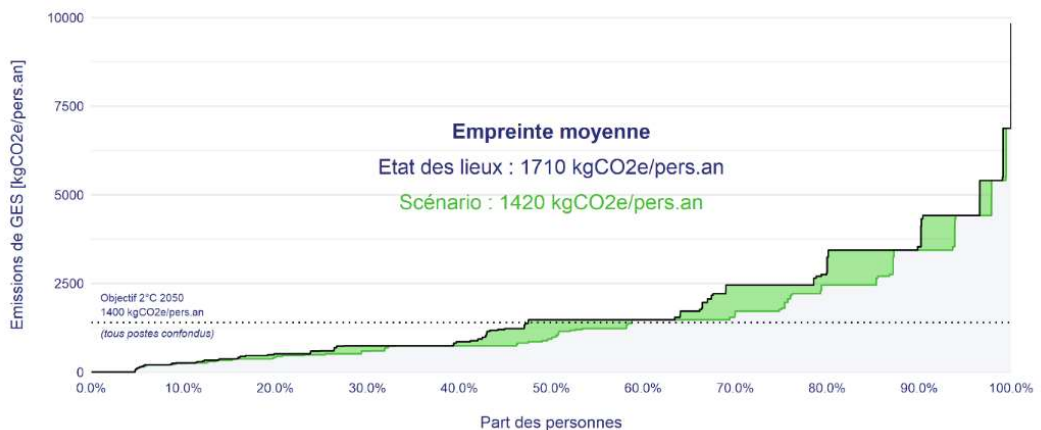


Figure 20 – Effet du covoiturage sur les émissions de GES de la mobilité domicile-travail, pour une augmentation du nombre moyen de passagers par véhicule de 1,2 à 1,6. Postes de consommation d'énergie et fabrication des véhicules, pour toutes les personnes ayant un emploi au Luxembourg (f(lux), 2020)

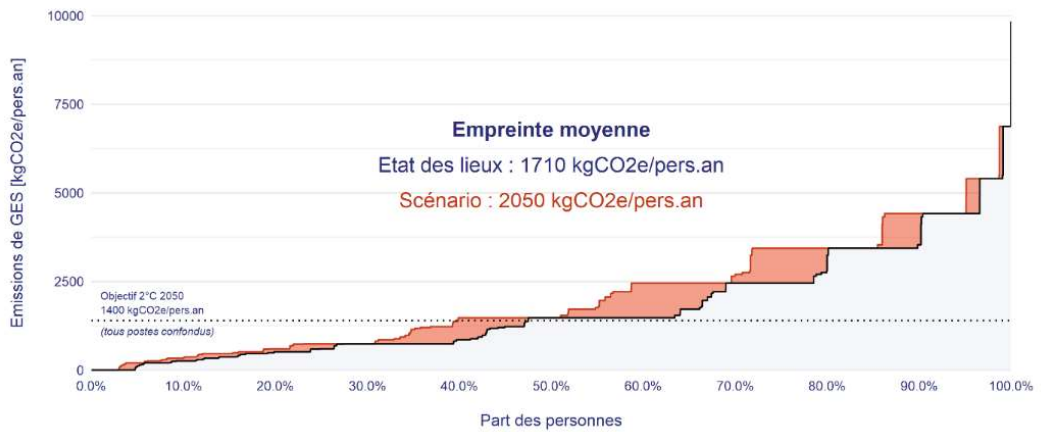


Figure 21 – Effet du taux de frontaliers sur les émissions de GES de la mobilité domicile-travail, pour une augmentation de la part des frontaliers de 46 à 66%. Postes de consommation d'énergie et fabrication des véhicules, pour toutes les personnes ayant un emploi au Luxembourg (f(lux), 2020)

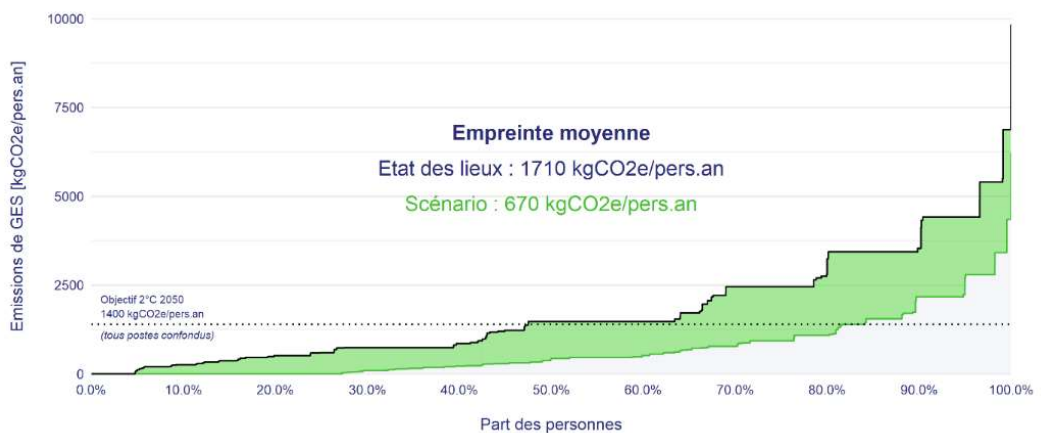


Figure 22 - Effet du taux de frontaliers sur les émissions de GES de la mobilité domicile-travail : part des frontaliers à 66%, véhicules tous électriques, télétravail massif, covoiturage. Postes de consommation d'énergie et fabrication des véhicules, pour toutes les personnes ayant un emploi au Luxembourg. (f(lux), 2020)

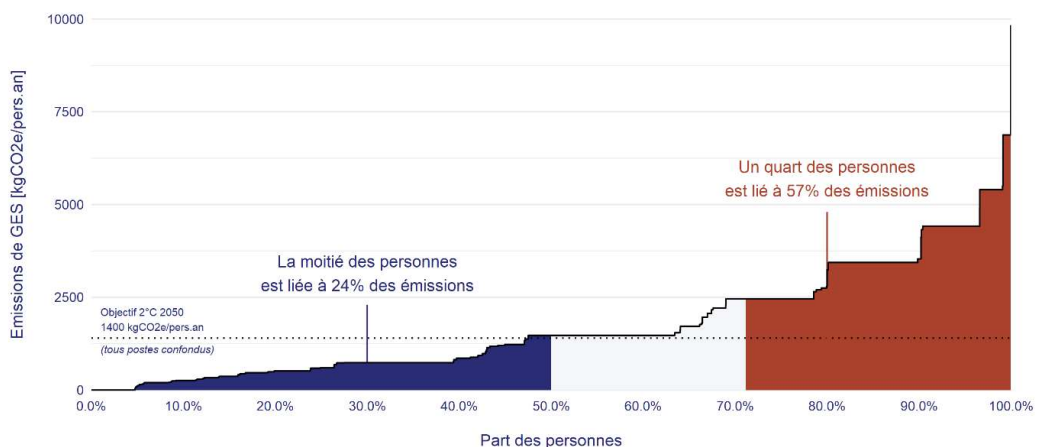


Figure 23 - Estimation des émissions de GES liés à la mobilité domicile-travail. Postes de consommation d'énergie et fabrication des véhicules, pour toutes les personnes ayant un emploi au Luxembourg. (f(lux), 2020)

2.3. Deuxième étude de cas : vers une transition des sols – le paysage capital

2.3.1. Le sol comme fondation d'un projet territorial pour définir un nouveau contrat entre ville et paysage.

La reconnaissance d'une biorégion luxembourgeoise nous offre des perspectives pour explorer et tester des manières de penser un devenir paysage vertueux, en mesure de répondre aux enjeux sociétaux, énergétiques et climatiques. **Nous envisageons ce paysage comme un bien commun mais aussi comme un outil capital dans sa capacité à orchestrer la transformation de l'aire géoécologique du Grand-duché du Luxembourg pour résister aux chocs de l'ère anthropocène.**

Capital aussi car il constitue l'ADN à la fois visible et invisible du territoire et de ses ressources.

Capital surtout car il s'agit d'un espace-temps multifonctionnel et résilient qui doit pouvoir accueillir de nouveaux types d'investissements sur le court, moyen et long terme.

Capital enfin car le paysage du Grand-Duché est l'espace physique et géographique dans lequel un corpus d'actions est encore possible pour penser le monde de demain.

Nous souhaitons nous focaliser sur le devenir des « paysages froids », c'est à dire ceux qui sont encore aujourd'hui les moins producteurs de CO2. Ces paysages froids sont à protéger et à envisager comme des laboratoires pour inventer le monde de demain. Notre réflexion s'appuiera sur une démarche de recherche transversale que nous menons dans un cadre académique post-doctoral et au sein de notre pratique de paysagistes. Elle comporte trois volets :

- La recherche **sur** un territoire ;
- La recherche **par** le projet (recherche action) ;
- La recherche **pour** ouvrir le projet vers de nouvelles formes de dissémination.

Les trois grandes entités à explorer sont les suivantes : les sols visibles et invisibles, les bassins versants/bassins de vies, ainsi que les paysages productifs (composantes essentielles du territoire luxembourgeois).

Ces composantes permettent de penser les problèmes majeurs du Duché : l'impact territorial du changement climatique, la perte de biodiversité, ainsi que la manière de penser les relations villes et campagne en questionnant les ressources (alimentaires et énergétiques) dans un pays qui ne peut être entièrement indépendant sur ces sujets.

2.3.2. Vers une redéfinition de l'aire géoécologique du Grand-Duché : les terres brunes de la biorégion comme héritage

Nous reconnaissons la nature des sols fertiles (terres brunes) comme un héritage et une culture commune, qui renvoie à une mémoire collective des habitants de la Grande Région. Il s'agira d'opérer une analyse des sols à une échelle transfrontalière pour définir une nouvelle cartographie des composantes de l'aire géoécologique du Grand-Duché. Ce nouvel état des lieux doit permettre

d'identifier un nouvel ADN des ressources paysagères sur un périmètre élargi pour redéfinir les limites d'une biorégion et intégrer des polarités métropolitaines de quatre pays : France (Nancy et Metz), Allemagne (Mainz, Koblenz, Trier, Saarbrücken), Belgique (Tournai, Liège, Namur) et le Luxembourg.

Cette approche initiale et analytique des qualités pédologiques doit nous permettre d'initier les grands principes d'une stratégie de reterritorialisation, c'est à dire une reconnaissance de l'usage des sols fertiles comme un bien commun à protéger et valoriser.

La production d'une nouvelle carte géoécologique a pour ambition de rendre visible un patrimoine paysager et culturel capable d'accueillir les mutations futures et de limiter l'empreinte carbone de la région fonctionnelle luxembourgeoise.

Cette approche se focalise sur deux sujets de recherche :

- Les bassins versants comme lieux de vie ;
- Les paysages productifs comme laboratoires du devenir écologique et économique du Luxembourg.

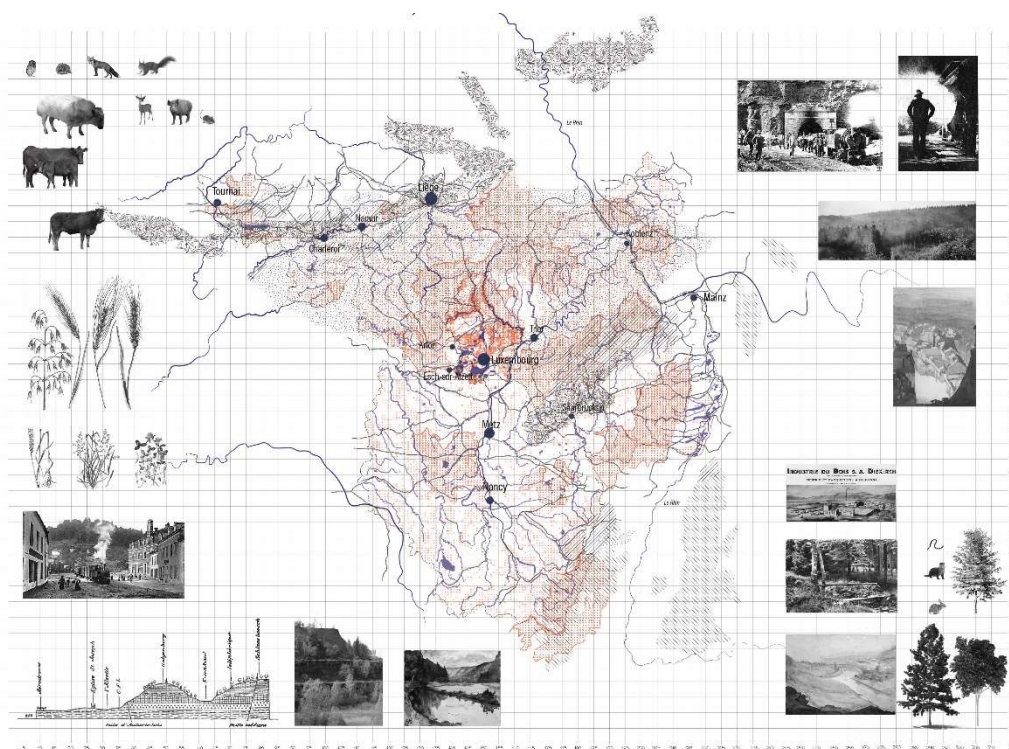


Figure 24 - Les paysages froids de la Grande Région (f(lux), 2020)

2.3.3. Les Bassins versants comme lieux de vie

Notre démarche propose de questionner le devenir des bassins versants en abordant les dimensions géologiques, hydrologiques et topographiques du territoire luxembourgeois.

Il s'agira de comprendre ces bassins versants comme des écosystèmes intégrant trois formes d'écologie : environnementale, culturelle et sociale. Si ces ossatures peuvent être inclusives de ces différentes dimensions, elles sont aussi fragiles et nous devront aborder l'intégration du risque dans une réflexion multiscale.

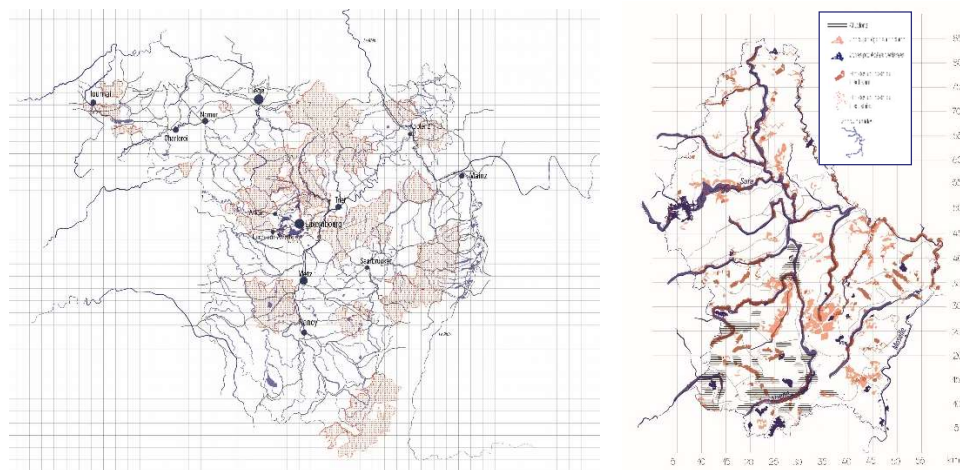


Figure 25 - Les matrices hydrographiques de la Grande Région et du Luxembourg (f(lux), 2020) ; voir cartes en grande taille en annexe.

2.3.4. Les paysages productifs comme laboratoires des transitions

Nous reconnaissons les paysages productifs luxembourgeois et plus largement ceux de la biorégion comme des espaces emblématiques et capitaux pour proposer des solutions adaptées afin de répondre à différentes questions :

- Intégrer les enjeux sociétaux liés aux usages et aux nouvelles relations à instaurer entre ville et campagne ;
- Définir de nouveaux espaces de projets pour améliorer le devenir des affectations des sols : sylvicultures, transition des parcelles agricoles (vergers et maraichages) pour proposer des solutions adaptées à une forme d'autonomie du territoire ;
- Restaurer les écosystèmes, contribuer à la biodiversité et s'adapter aux changements climatiques ;
- Stocker du carbone dans la matière organique ;
- Lutter contre l'insécurité alimentaire ;
- Favoriser des formes expansives dans lesquels sont directement impliqués les habitants, les agriculteurs, les sylviculteurs et les arboriculteurs ;
- Permettre la culture de la participation dans les projets urbains et environnementaux.

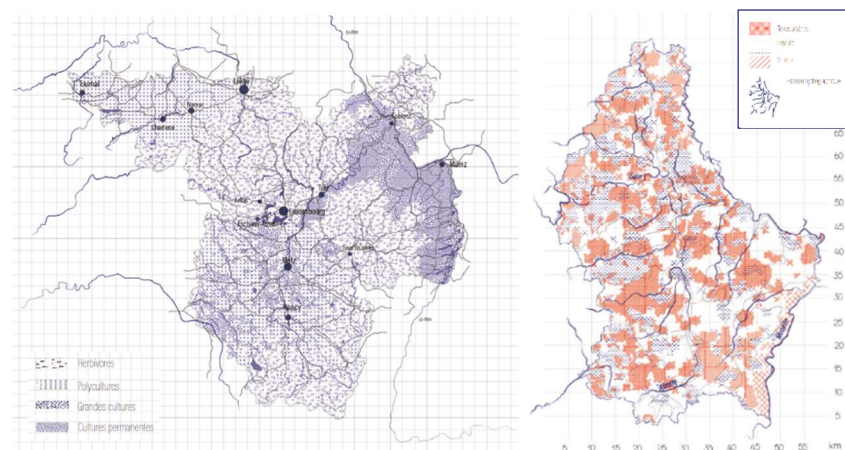


Figure 26 – Paysages productifs de la Grande Région et du Luxembourg (f(lux), 2020)

2.3.5. Vers une mutation d'occupation et d'usages des sols : essai de parcelle laboratoire

L'empreinte alimentaire du Luxembourg est l'une des plus élevées au monde³⁷. En effet le Luxembourg dépend encore largement de l'importation de fruits et de légumes pour pouvoir répondre à la demande de sa population. Actuellement, moins de 5 % des légumes vendus au Luxembourg proviennent de la production domestique. Pour ce qui est des fruits, le degré d'autosuffisance est inférieur à un pour cent³⁸.

De plus, l'importation de ces produits étrangers accentue l'empreinte carbone du Grand-Duché, tout en ayant un impact néfaste vis-à-vis de la biodiversité.

Nous nous essayons à un exercice de données afin de penser à des mutations de sols plausibles.

Ici, nous considérons que le Duché exporte 9 % de sa production³⁹, ce qui pourrait représenter environ 11 600 ha de terres cultivées (actuellement il s'agit de production céréalières).

Nous nous essayons à extraire ces surfaces dédiées à l'exportation afin de les reconvertir en terres laboratoires dédiées à des pratiques respectueuses de la biodiversité et des sols tels que l'agroforesterie et la permaculture.

Ces essais de parcelles laboratoires, en plus d'être vouées à une recherche d'équilibre des écosystèmes du vivant, abordent aussi la question de l'autonomie alimentaire afin de tendre vers des sources alimentaires locales.

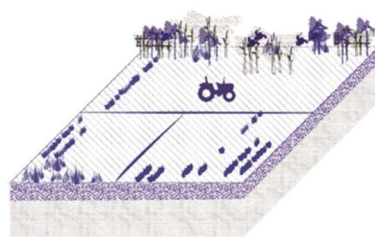
De plus, il est intéressant de constater que ces 9 % font aussi écho au 8% de terres agricoles possédées par des agriculteurs luxembourgeois qui se situent en dehors des limites administratives du Duché⁴⁰.

Si nous prenons en compte une autonomie « totale » (hors viande et poissons, les protéines étant apportées par les légumineuses), il est alors possible de mobiliser 1000 à 1500 m² de cultures par habitant (céréales, oléagineux, légumes, et fruits)⁴¹. En déduit, une possibilité de nourrir environ 116 000 habitants, soit 18,6 % de la population (sur la base des 9 %).

| | | Equivalent population alimentée avec un empreinte alimentaire 2,58 ha/hab | Equivalent population alimentée avec un empreinte alimentaire idéale 0,9 ha/hab |
|---|---------|---|---|
| Nombre d'habitants 2020 | 613 894 | | |
| Nombre d'habitant 2050 +1,3 % | 621 874 | | |
| Terres cultivées (Vergers-Vignobles - Terres arables) | 128 832 | 49 935 | 143 146 |
| Equivalent en ha à mobiliser | | 1 583 856 | 552 504 |

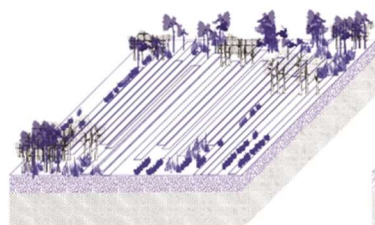
Figure 27 - Empreinte alimentaire du Luxembourg (Source données : Changeonsdemenu.lu)

SITUATION INITIALE



TERRES ARABLES ENN 2020

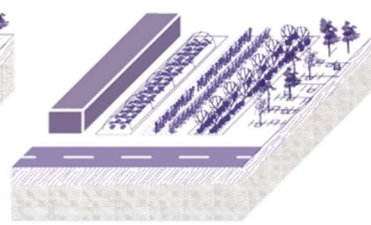
MUTATIONS POSSIBLES



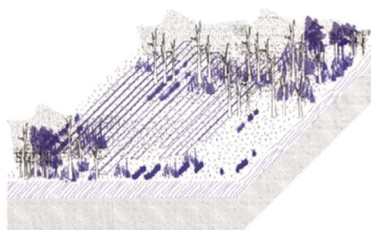
REDÉFINITION DU PARCELLAIRE AGRICOLE



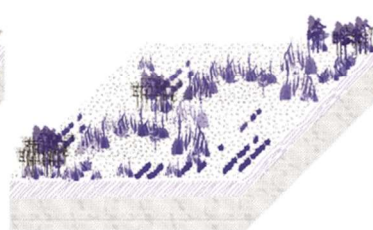
REDÉPLOIEMENT DE MIXITÉ DE CULTURES



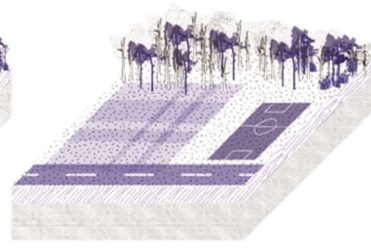
LIAISON INFRASTRUCTURES ET MOBILITÉS



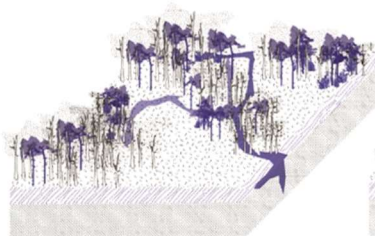
REDÉPLOIEMENT DES BOGAGES ET LISIÈRES



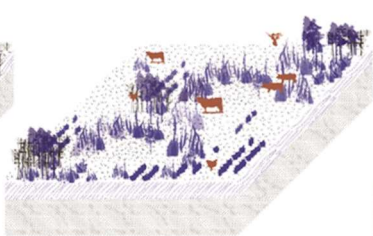
REDÉPLOIEMENT DES PRAIRIES NATURELLES



CRÉATION DE PAYSAGES RECREATIFS ET PÉDAGOGIQUES



LIAISON MATRIÈRE VERTÉ ET BLEUE



EXTENSION DE L'ÉLEVAGE



FAVORISER UN CYCLE VERTUEUX DES ÉNERGIES



PAYSAGE ÉCOLOGIQUE
MICRO-HABITATS RÉGÉNÉRÉS ET HÉTÉROGÈNES



PAYSAGE DE TRANSITION BÉNÉFICES NON-HUMAIN
FAVORISER L'ÉMERGENCE DE NOUVEAUX LIEUX REFUGES



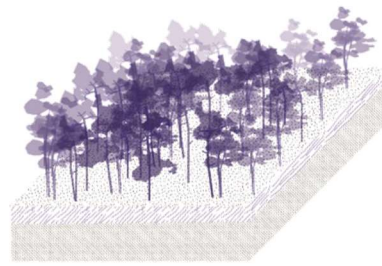
PAYSAGE DE TRANSITION BÉNÉFICES HUMAINS
FAVORISER L'ÉMERGENCE DE NOUVELLES FORMES
DE VIE SOCIALE ET CRÉATIVES

PÉRIPÉTIES POSSIBLES

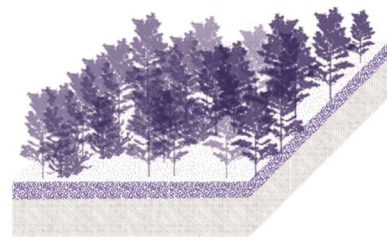
| | | | | | |
|--|---|------------------------------------|---------------------------------------|--------------|--|
| <p>Augmentation de la température +3 c</p> | <p>Repenser les capacités à stocker de l'eau et gérer cette ressource</p> | <p>Favoriser la lutte intégrée</p> | <p>Abandon des intrants chimiques</p> | <p>↓ Ges</p> | <p>Limiter les importations de fruits légumes, en déployant une mixité des cultures.</p> |
|--|---|------------------------------------|---------------------------------------|--------------|--|

Figure 28 – Scenarios d'évolutions possibles des terres arables (f(lux), 2020)

SITUATION INITIALE



FORÊT DE FEUILLUS

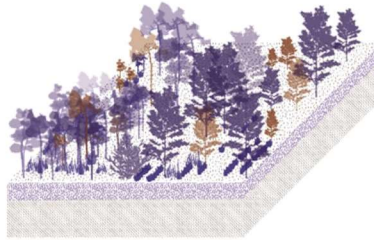


FORÊT DE RÉSINEUX

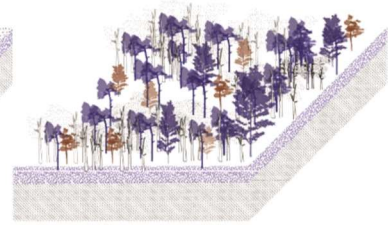
MUTATIONS POSSIBLES



CREATION DE LABORATOIRES DE TRANSPLANTATION
FAVORISER LA DIVERSITE GENETIQUE DES ESSENCES
ACCOMPAGNER LA SYMBIOSE MYCORHIZIENNE



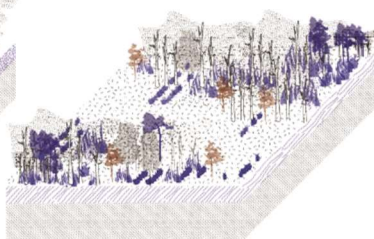
ACCOMPAGNER LA REGENERATION DES
VIEUX PEUPELEMENTS
- PROCÉDÉ NATUREL
- ACUPUNCTURE



DÉPLOIEMENT DE FORÊT MIXTES
FAVORISER LA RESISTANCE AUX SECHERESSES ET MALADIES



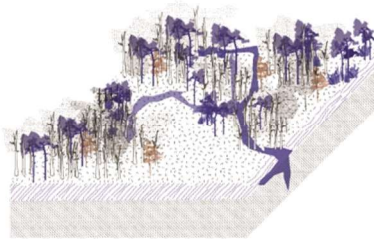
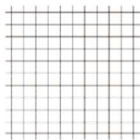
MUTATION D'USAGE DES SOLS
RENFORCER LE COUVERT VEGETAL DE MANIERE MOZAÏQUE



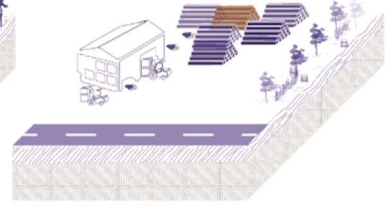
REDEPLOIEMENT DES BOCAGES ET LISIÈRES



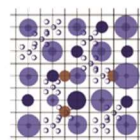
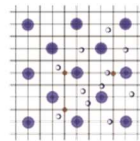
LIAISON INFRASTRUCTURES ET MOBILITÉS



LIAISON MATRICE VERTE ET BLEUE



REQUALIFICATION DE LA FILIÈRE DU BOIS
FAVORISER LE SAVOIR-FAIRE LIÉ AUX FEUILLUS
BOIS DE CONSTRUCTION - CIRCUIT LOCAL -



RENFORCER LA DIVERSITÉ DES ESSENCES ET
DES ESPÈCES



PAYSAGE ÉCOLOGIQUE
MICROS-HABITATS RÉSILIENTS ET HÉTÉROGÈNES



PAYSAGE DE TRANSITION BÉNÉFICES HUMAINS
FAVORISER L'ÉMERGENCE DE NOUVELLES FORMES
DE VIE SOCIALE ET CRÉATIVES AINSI QUE PÉDAGOGIQUE -

Figure 29 – Scenarios d'évolutions possibles des forêts (f(lux), 2020)

PARTIE 3 /
**SCENARISER,
SPATIALISER ET
PARTAGER LA
STRATEGIE DE
TRANSITION**

Comment retranscrire la stratégie de transition de manière opérationnelle, en l'articulant aux dynamiques en cours à l'échelle de l'Europe ? Comment faire du Luxembourg un véritable démonstrateur de la transition écologique ? Sur quels outils s'appuyer pour partager, communiquer et coconstruire le projet de transition ?

Dans cette dernière partie, nous décrivons les premiers axes de travail que nous souhaiterions explorer en phases 2 et 3 afin de répondre à ces enjeux.

La partie 3.1 esquisse une première scénarisation de la stratégie de transition, déclinée en trois étapes, et s'appuie sur la place centrale du Luxembourg sein de l'Union Européenne – historique, géographique et politique – pour en faire un véritable démonstrateur de la transition écologique.

Enfin, la partie 3.2 présente la fresque de la Renaissance Ecologique, un outil de représentation, de partage et de coconstruction de la transition que nous souhaiterions mettre au service du projet dans les phases ultérieures, afin de partager le plus largement possible le projet de transition.

3.1. Du grand virage à la reconstruction structurelle, les trois phases de la Renaissance écologique

Nous finalisons la première phase de cette étude alors que l'Union Européenne valide un objectif de -55% de réductions d'émissions de gaz à effet de serre d'ici 2030⁴² et que l'ONU appelle à déclarer « l'état d'urgence climatique »⁴³. Outre l'objectif global, c'est le décrochage immédiat par rapport à la courbe tendancielle qui nécessite notre attention, comme le souligne le Emissions gap report 2020 (op. cit). Notre cahier des charges diffère donc radicalement d'exercices précédemment menés à l'échelle du Luxembourg (Troisième Révolution Industrielle...). **La temporalité de l'étude doit être celle de l'action. Nous devons considérer cette mission comme celle qui accompagne la mise en œuvre des mesures par l'exécutif du Grand-Duché, pas simplement une mission de prospective ou de stratégie, qui recommande des solutions possibles.** Nous devons impérativement raccourcir la temporalité de la séquence "analyse, conception, recommandations, validation, mise en œuvre", en contribuant à la mise en œuvre de projets démonstrateurs pouvant rapidement être testés en vue d'un déploiement à grande échelle.

Cette priorité donnée à la variable "temps" dans notre étude nous amène à structurer nos propositions en trois phases, en visant en priorité l'objectif intermédiaire de 2030 :

- 2021 : l'année du grand virage des usages ;
- 2022-2025 : la bascule de l'appareil de production ;
- 2026-2030 : la reconstruction structurelle.

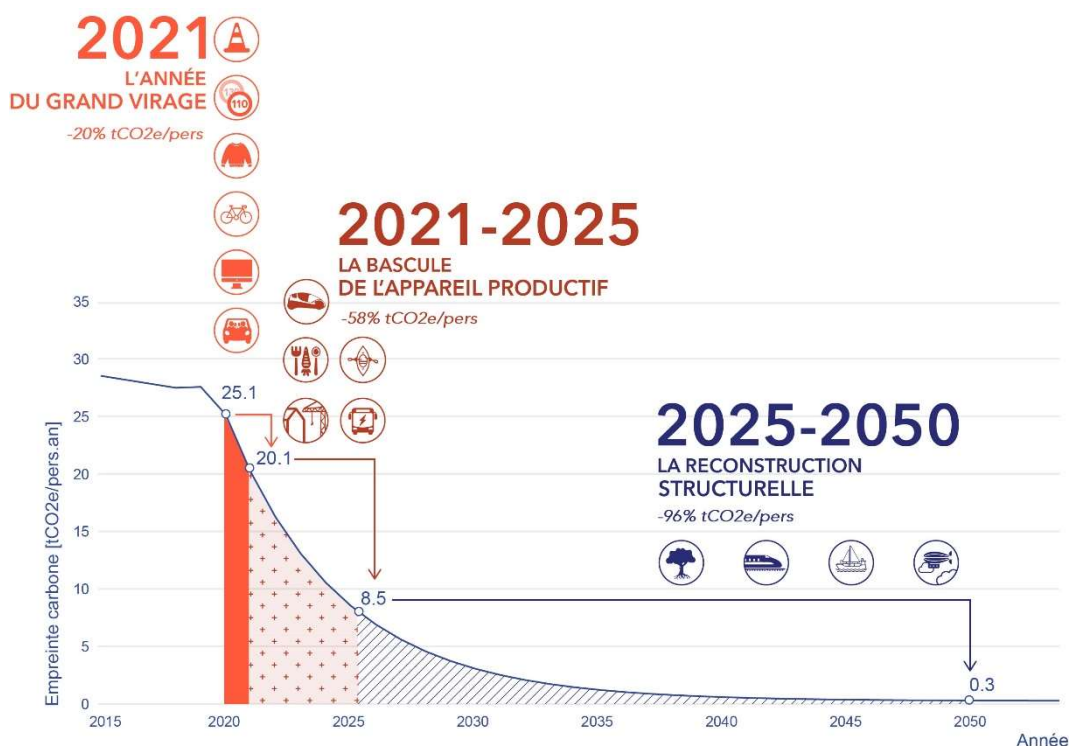


Figure 30 – Du grand virage à la reconstruction structurelle : les trois phases de la Renaissance Écologique – ici pour une trajectoire 1,5°C (ff(lux), 2020) ; voir version grande taille en annexe.

Nous soulignons l'importance de réussir cette première tranche de mesures pour tenir l'objectif de -55% en 2030, étape qui doit prendre la prééminence sur l'objectif de neutralité carbone de 2050. En effet, ce dernier objectif sera tout simplement intenable si nous n'avons pas atteint l'objectif intermédiaire de 2030. De fait, nous sommes conduits à éliminer certaines options pour 2030, mais à les retenir (et même à les mettre en œuvre en parallèle) pour tenir l'objectif 2050. Il s'agit par exemple de grands chantiers d'infrastructures (lignes ferroviaires notamment), dont la planification, conception, production et mise en œuvre dépasse les 10 ans qui nous séparent de 2030.

3.1.1.2021 : mesures d'amorçage du "virage sur l'aile", celles qui peuvent être prises et mises en œuvre sans attendre en 0-1 an

2021 est l'année décisive du décrochage de la courbe : nous devons ici parvenir à mettre en œuvre les changements d'usages, de production et d'aménagement qui permettent de réduire les émissions "en l'état", c'est à dire avant même d'avoir entrepris une modification de l'infrastructure ou d'avoir décarboné les vecteurs énergétiques. **Nous abordons ici une démarche de "recherche-action" dans le même temps que celui de l'étude**, qui nécessite la mobilisation d'une masse critique de parties prenantes, coordonnée et animée par l'exécutif du Grand-Duché. Notre rôle vise à fournir les cahiers des charges, orientations, descriptions de mesures, mais aussi les arguments et éléments de langage, qui permettent à l'ensemble de ces parties-prenantes de mettre en œuvre les mesures d'amorçage.

Nous nous appuyons notamment sur la Fresque de la Renaissance Écologique, qui est prête à être déployée auprès de publics scolaires, associatifs, sportifs, de collectivités locales, d'industriels, d'investisseurs, de régulateurs. Cette fresque nous permet de partager une vision commune du projet, et de faire émerger des synergies, complémentarités entre les actions portées par chacun. La fresque résout une partie des problèmes de "poule et d'œuf", dans la mesure où elle fournit un même référentiel aux acteurs "supply side" (industriels, commerçants, producteurs, financiers, régulateurs) et aux acteurs "demand side" (citoyens, entreprises, collectivités, exécutif).

Nous sommes conscients du risque de « mettre la charrue avant les bœufs » en vous proposant d'amorcer une part des mesures pendant la phase d'étude. Cependant, il nous semble critique de constituer une base solide d'ambassadeurs de votre démarche, de manière à pouvoir déployer les conclusions de l'étude auprès d'une masse critique de la population à l'issue de l'étude. **Rappelons que chaque année compte et que les pourcentages d'effort constants, déjà élevés, s'appliquent dès 2021. Souvenons-nous aussi des conclusions de Valérie Masson-Delmotte, lors de ses présentations du rapport spécial du GIEC 1,5°C : « Chaque demi-degré compte, chaque année compte, chaque choix compte ».**

3.1.2.2022-2025 : la bascule de l'appareil de production

Les mesures d'amorçage permettent d'enclencher, dès 2021, des investissements et mesures de conversion de l'appareil de production. Ces mesures nécessitent un temps de latence et nous prévoyons d'en voir les premiers effets dès 2022. **Nous visons une bascule de la masse critique de l'appareil de production d'ici 2025, pour disposer, à cette date d'une infrastructure dimensionnée pour porter et mettre en œuvre les changements les plus "lourds" qui doivent avoir été mis en œuvre avant 2030.**

Par exemple, il nous faut des unités de production de blocs d'isolation biosourcés pour déployer le programme d'isolation massif des toitures et façades en appliquant les techniques de *Sarking*. Cet appareil de production nécessite en parallèle un ajustement des plantations sur terres agricoles, de manière à disposer d'une quantité suffisante de fibres, qui seront utilisées dans ces blocs isolants.

Cette phase représente un investissement majeur, à la fois sur la transformation des sites de production (changement de machines, flux logistiques, nature, volume et localisation des espaces de stockage etc.) mais aussi des compétences. C'est ici un des leviers d'activation des mesures d'amorçage, dès 2021 : entamons la requalification des personnels dès ces premiers mois du programme, ce qui permet de mettre à l'arrêt une partie des équipements carbonés amenés à être modifiés / réaménagés sur la période 2022-2025, et donc de cranter la réduction des émissions.

Nous agissons au cours de cette période sur l'agriculture et sur les sites intensifs en emplois et en émissions, avant de procéder au déploiement diffus des solutions sur 2026-2030. **Il ne s'agit pas d'un projet de décroissance mais de transition-rennaissance, qui vise à pérenniser des filières d'emploi autour d'activités conformes aux objectifs de décarbonation et de régénération du vivant. Nous investissons ici pour construire le futur.**

3.1.3.2026-2030 : la reconstruction structurelle

En 2026, nous disposons d'un appareil de production décarboné, de personnels formés et opérationnels, tandis que la gamme des usages décarbonés s'est étendue et que le nombre de citoyens et entreprises ayant adopté ces usages s'élargit. Nous pouvons alors déployer la reconstruction structurelle, en décarbonant les postes diffus : les émissions liées au résidentiel et tertiaire, l'essentiel des émissions liées à la mobilité, la substitution des vecteurs thermiques, la régénération du vivant et des paysages bas carbone.

Nous bénéficions à ce stade des synergies entre les mesures "demand side" amorcées dès 2021 et les mesures "supply side" mises en œuvre entre 2021 et 2025. L'appareil de production est organisé pour des séries de grand volume, de manière à répondre à des besoins diffus. Les années 2021-2025 permettent de planifier le déploiement géographique qui sera opéré sur cette période, de manière à synchroniser les changements d'équipements et d'infrastructures dans plusieurs secteurs sur une poche donnée du territoire.

En effet, il est indispensable à ce stade d'avoir relocalisé les sites de production et de les avoir rapprochés des zones résidentielles, pour être en mesure de réduire les distances parcourues (fret, personnes) et d'opérer la décarbonation de la mobilité. Cette phase nécessite un important volet d'accompagnement humain, pour répondre aux besoins, contextes et contraintes particulières de chaque foyer, chaque entreprise. Il s'agit là d'un des volets essentiels de la création d'emplois dans le secteur tertiaire et quaternaire, permettant de requalifier et de reclasser une grande partie des équipes actuellement dédiées à des activités intensives en carbone. Nous continuons la démarche de reconstruction structurelle sur le plan biologique, notamment dans la perspective de la séquestration du carbone dans les sols agricoles et forestiers.

Si ce volet est le plus lent de la stratégie, il doit cependant démarrer dès 2021 pour livrer son plein potentiel en 2030 et surtout en 2050. La consolidation de ces ressources biologiques et des écosystèmes afférents est un levier fondamental de l'adaptation aux effets du changement climatique, qui vont continuer de s'aggraver sur la période. Nous intervenons donc simultanément sur

l'atténuation des émissions, l'adaptation aux effets du changement climatique et sur la résilience du territoire. En outre, le Grand-Duché disposera, grâce à ces investissements, d'une nouvelle classe d'actifs décarbonés, dont la valeur sera capitalisée et monétisée par les acteurs du secteur financier.

3.1.4. De la CECA et la CE/Carbone

Ces trois étapes répondent à un calendrier "contraint", induit par l'urgence climatique et l'accélération de la destruction de la biodiversité. Ces trois étapes s'inscrivent aussi dans un calendrier d'opportunités : le green deal, la construction européenne. Nous pensons qu'une partie de notre mission doit permettre au Grand-Duché d'étayer et de développer son argumentaire pour faire du Luxembourg un territoire pilote d'application.

Cette mission intervient au moment où les 27 valident le *Green New Deal*. Le Grand-Duché peut donc légitimement positionner ce programme de transition comme le premier programme d'application de ce cadre de politique européenne.

La mission que vous nous confiez peut ici vous servir :

- À préciser le calendrier et les méthodologies d'application du *Green Deal*
- À prototyper les grandes familles d'investissements et leur impact en termes de réductions d'émissions de gaz à effet de serre, sous forme de gabarits facilement répliquables à l'échelle européenne
- De territoire test pour renforcer la coopération transfrontalière, dans le cadre d'une nouvelle phase de la construction européenne

Nous pensons en effet que la mission que vous avez lancée est une formidable opportunité pour relancer un nouveau chapitre de la construction Européenne. C'est autour du Luxembourg que s'est constituée la CECA, que nous pouvons considérer avec recul comme étant la phase carbonée du projet européen. Les engagements pris par l'Union en matière de réduction des émissions nous projettent désormais dans l'ère du post-Carbone, aussi nous pouvons ici envisager la constitution, autour du Luxembourg, d'une CE/Carbone : la Communauté Européenne de l'après CARbone. Situer la CE/Carbone dans une région sidérurgique, alimentée au charbon, c'est acter la fin d'une ère et célébrer une renaissance, à la fois économique et industrielle (la CE/Carbone engage une reconversion des actifs), mais aussi culturelle, politique et citoyenne.



Figure 31 - Signataires du traité de Paris instaurant la CECA, le 18 avril 1951

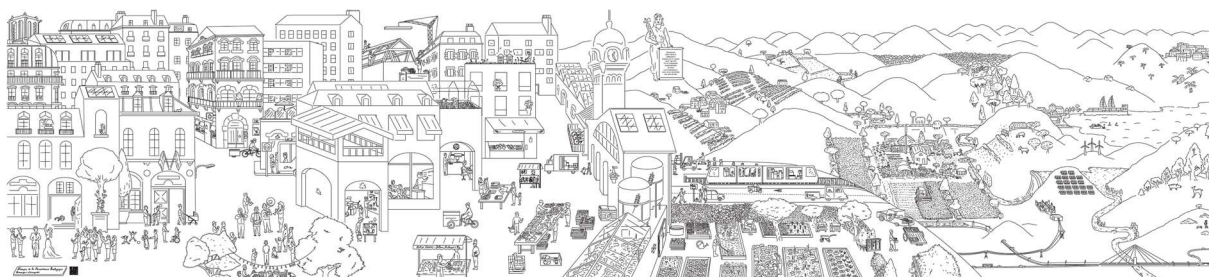
Nous proposons que le 18 avril 2021 marque le début de la recherche-action que nous proposons pour 2021, en souvenir de la création de la CECA le 18 avril 1951, et devienne ainsi la date anniversaire à laquelle les réductions d'émissions pourront être célébrées, nous rapprochant chaque année de l'objectif de la neutralité carbone.

En effet, **nous savons à ce stade de la construction européenne qu'un des enjeux récurrents concerne la participation des citoyens au projet européen**, leur adhésion au projet, leur implication dans son élaboration et sa mise en œuvre. En matière de climat et de transition écologique, l'implication citoyenne est cardinale : c'est là que se joue la trajectoire d'usages, c'est là que se joue l'allocation de l'épargne, l'expression du vote démocratique. Nous pouvons relever un tel défi en intervenant de manière transverse, à tous les échelons de la société :

- **Au niveau de l'exécutif**, nous nous mettons à votre service pour vous accompagner dans l'élaboration d'une vision stratégique claire et systémique
- **Au niveau des acteurs économiques**, nous proposons une démarche inclusive, coopérative, à même de dégager des synergies et des investissements privés
- **Au niveau des citoyens**, en participant à l'animation de proximité, à la formation continue ou à l'éducation populaire, en accompagnant l'expression de la parole publique dans une alliance de démocratie participative et représentative.

3.2. La fresque de la Renaissance Ecologique, un outil de partage et de co-construction de la transition

Cette fresque est l'adaptation contemporaine de l'Allégorie des Effets du Bon Gouvernement, peinte par Ambrogio Lorenzetti à Sienne en 1338. Sous la direction de Julien Dossier, Johann Bertrand d'Hy a repris la même composition et l'a adaptée avec des équivalents contemporains. Cette transposition est détaillée dans *Renaissance Écologique, 24 chantiers pour le monde de demain* (Actes Sud, collection Domaine du Possible, mai 2019). L'Association de la Renaissance Écologique a pour mission d'assurer la diffusion de la fresque (www.renaissanceecologique.fr).



*Figure 32 – Fresque de la Renaissance écologique - Hommage à Lorenzetti
(Julien Dossier & Johann Bertrand d'Hy, 2015)*

La fresque, par son rendu allégé sous forme de dessin enfantin, est un support d'imagination qui rend l'outil extraordinairement malléable, adaptable à tout type de situation. Elle a ainsi permis de :

- Concevoir le plan stratégique de 108 entrepreneurs de la région nantaise, à l'échelle de 56 000 salariés ;
- Elaborer la vision 2030 d'un grand groupe d'articles de sport ;
- Construire le plan d'innovation d'un des principaux promoteurs immobiliers en France ;
- Construire le récit de la transition à Grande Synthe ;
- Permettre aux 150 citoyens tirés au sort pour la Convention Citoyenne pour le Climat française de faire la synthèse des enjeux de la convention ;
- Décrire les plans territoriaux de nombreuses communes, petites ou grandes, un peu partout en France, à l'étranger aussi (y compris au Bénin). A chaque fois, les participants aux ateliers pouvaient dire "ça, c'est ici, c'est chez moi" sur un des points de la fresque ; à partir de ce point d'entrée, toutes les autres zones s'animaient.

Au-delà du registre écologique, la fresque a pu illustrer : la citoyenneté, la coopération territoriale, l'économie circulaire, la tolérance, la justice, la sécurité, la santé, la devise de la République Française. Elle a permis à un groupe de diplomates européens spécialisés sur les questions Énergie-Climat de partager une vision commune lors d'un atelier organisé par l'Ambassade de Grande Bretagne en prévision de la COP26...

Nous proposons d'utiliser la trame fonctionnelle de la fresque en lien avec notre modélisation numérique des facteurs d'émission (section 2)

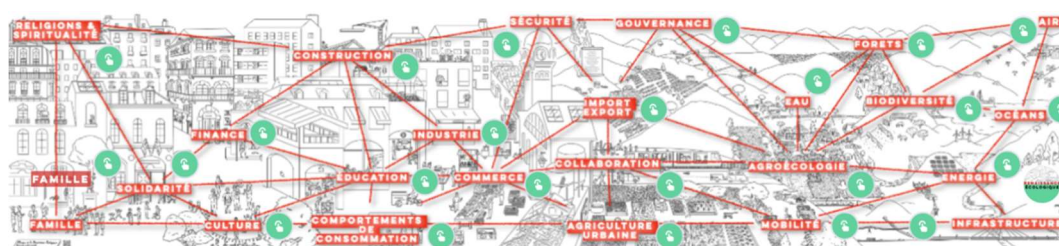


Figure 33 - Exemple d'appropriation citoyenne de la fresque : chaque chantier fait l'objet d'un commentaire vidéo de deux minutes (<https://renaissanceecologique.qrd.by/user?url?id=wmyod3>) (Quattrolibri)

La fresque permet de situer les principales composantes du territoire du Grand-Duché, ainsi qu'en témoigne cette illustration, tirée du site de la Grande Région⁴⁴ :



Figure 34 – Articulation de la fresque de la Renaissance Ecologique avec le territoire du Luxembourg (f(lux), 2020)

3.3. Vers une cartographie de l’empreinte géo-écologiques des territoires.

3.3.1. Concurrence des sols, convergence écologique : pour la fabrication du M.O.S (Mode d’Occupation des Sols) de la région fonctionnelle.

À l’échelle du territoire fonctionnel, la contrainte carbone génère une concurrence des sols et donc de nouvelles lignes de démarcation entre les territoires, parfois à la dimension du bourg et du hameau. Il en sera évidemment de même pour les transitions alimentaires et l’autosuffisance énergétique des territoires : la carte des densités humaines génère de nouvelles géographies et de nouveaux modes d’occupation des sols. Ce travail à venir sera corollaire à une segmentation en cours par socio-types que nous développerons pour la prochaine phase et selon les retours suite à l’échange avec le conseil scientifique à fin janvier. Avant tout récit désirable, il est indispensable de prendre conscience des limites physiques à la neutralité. La somme de ces aires vitales entre en concurrence avec les villes, les territoires voisins. En 2020, sans plan ambitieux, Il faudrait une forêt grande comme 20 fois le Luxembourg pour compenser les émissions induites par le mode de vie actuel. Le défi est immense et singulier à ce territoire.

Notre travail consiste à analyser les surfaces d’un territoire qui lui seraient nécessaires pour assurer une certaine part des besoins fondamentaux de ses habitants, selon des productions locales et renouvelables pour ce qui concerne la production énergétique et la production de matériaux. Ensuite, à partir de l’analyse de ces surfaces, nous proposons de spatialiser les besoins en alimentation, en énergie, en séquestration carbone, et enfin, en production de matériaux renouvelables. Ce travail a pour ambition de dessiner la nouvelle relation d’interdépendance équilibrée, raisonnée et souhaitable, entre les territoires, entre les entités rurales et urbaines, entre les territoires productifs et les territoires consommateurs, pour passer de concurrence des sols à convergence écologique.

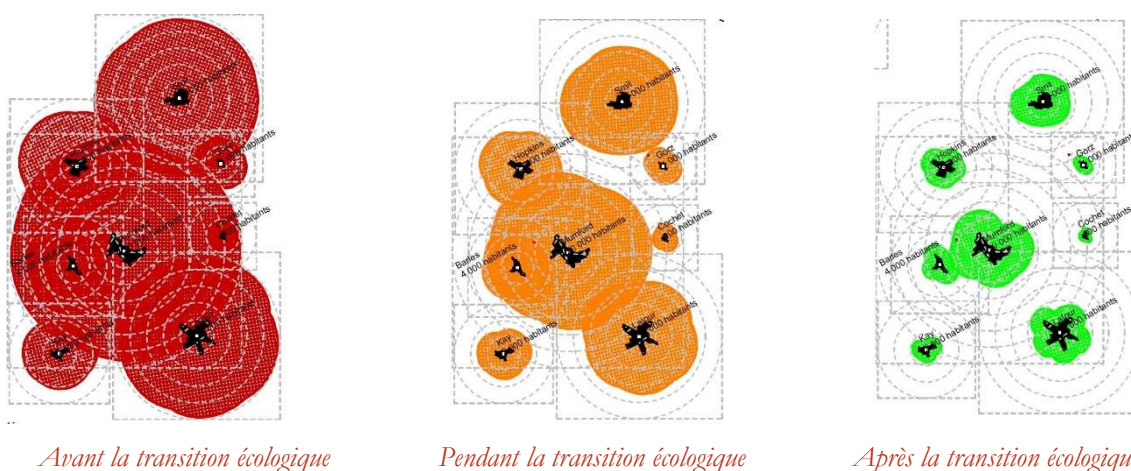


Figure 35 **Empreinte géo-écologique des territoires** - extrait du travail « des Bassins servants au paysage capital – AREP.

3.3.2. Etude de cas.

Nous avons choisi de mener l'exercice sur une ville fictive de 5000 habitants, et dont la commune s'étend sur 25km². Cette commune pourrait par exemple être celle de Roeser, dans le canton d'Esch-sur-Alzette.

En 2020, l'empreinte nécessaire à l'alimentation est alors de l'ordre de 4000 m² de surface agricole. En ce qui concerne les besoins énergétiques, le flux de consommation est de 6000 W, soit l'équivalent d'une consommation d'énergie primaire de l'ordre de 50000 kWh. Pour parvenir à composer un mix renouvelable équilibré, compensant les intermittences des différentes énergies renouvelables, la surface nécessaire serait d'environ de 3000 m². Concernant l'objectif de neutralité carbone, l'équation devient par contre plus ardue. Avec une empreinte globale de près de 12 tonnes de CO₂ par an, chaque habitant de la commune réclame près de 3 hectares de forêt pour compenser ses émissions de gaz à effet de serre. En effet, une forêt durablement exploitée absorbe et séquestre l'équivalent de 3 à 5 tonnes de CO₂ contenu dans l'atmosphère par an.

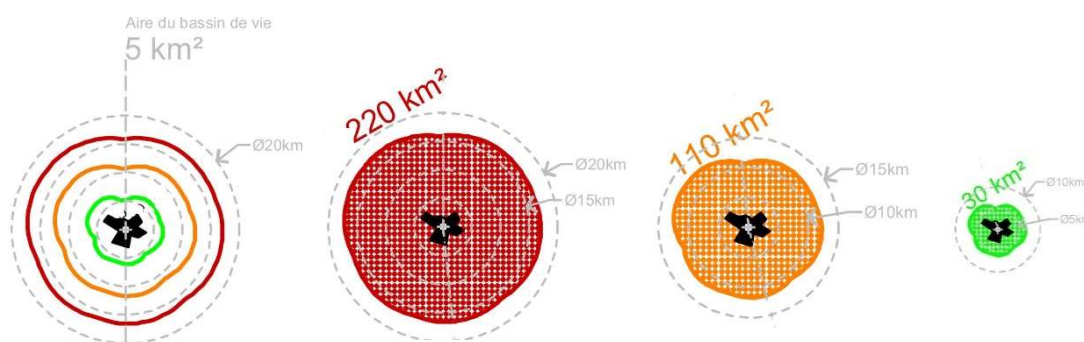


Figure 36 *Empreinte géo-écologique d'une commune de 5000 habitants – de l'aire vitale aujourd'hui, à celle après la transition écologique. Equipe f(lux)*

A l'échelle donc de l'ensemble des habitants de la commune, la concaténation des bassins versants alimentaires, énergétiques et carbone concourt alors à une surface minimale de 220 km², soit près de 50 fois le bassin de vie de la commune. Sur l'ensemble de son territoire communal, 200km² de surfaces complémentaires seraient nécessaires afin d'assurer l'autosuffisance alimentation - énergie et carbone de ses habitants.

L'objectif de cette démarche, et grâce à l'élaboration du modèle $f(lux)$ développé précédemment, nous pouvons dès à présent lier métrique de la transition, avec affectation des sols, et quantifier les efforts nécessaires à mener pour réduire l'empreinte géo-écologique des territoires, pour ne plus entrer en concurrence et en incompatibilité écologique globale avec les territoires voisins.

Cette étude de cas illustre la nécessité d'analyser à l'échelle communale la bonne cohérence et de limiter la superposition des bassins versants de chaque bassin de vie. Cette démarche illustre également la notion de solidarité entre territoires, et l'interdépendance qui existe entre les différents bassins de vie. Au-delà de la notion d'autonomie, il s'agit de révéler les complémentarités et les spécificités de chaque territoire, pour faire émerger le rôle à jouer du paysage capital de la région fonctionnelle luxembourgeoise. C'est ce travail fin, effectué à l'échelle des archétypes que nous proposons de développer dans la phase suivante.

Conclusion

De la région fonctionnelle, à l'ère géo-écologique, pour la construction d'un modèle entre métabolisme des flux et sol : le paysage capital

La Grande Région incarne une coopération renforcée, qui fait écho aux pratiques de libre circulation des personnes, marchandises et capitaux qui ont fait le succès du modèle européen. Ici, ce sont les flux qui donnent le tempo de la construction européenne et indiquent qu'une intégration fonctionnelle existe déjà. La présente mission s'appuie sur cette culture transfrontalière et sur les infrastructures existantes pour dessiner un futur coopératif, solidaire et résilient, en faisant émerger des solutions répliquables à l'échelle de l'Union. Il s'agit là d'un projet politique qui peut galvaniser les énergies, dans un sursaut de mobilisation, vital et résilient.

Nous proposons donc un accompagnement :

- **Stratégique** : le projet, selon nous, se traduit par la mise en mouvement d'un plan d'action stratégique cadencé pour dessiner une courbe de décarbonation efficiente dès 2030, à efforts constants. Nous souhaitons vous accompagner dans l'élaboration d'une vision d'ensemble, holistique, audacieuse et pertinente, pour projeter le plan d'actions à court, moyen et long terme ;
- **Technique** : nous souhaitons mettre à disposition de tous les arguments, données, métriques et outils de mesure permettant de justifier et étayer les grands axes des actions à engager ; C'est dans ce but que nous avons créé le modèle f(lux). Ce modèle permettant de mesurer les efforts réalisés, et d'identifier les ajustements à réaliser pour maintenir les objectifs.
- **Inclusif** : nous souhaitons accueillir et associer une masse critique d'acteurs publics et privés dans le périmètre élargi de cette mission ; notre démarche se veut associative, et s'appuie sur la Fresque de la renaissance écologique, document vivant, polymorphe, coconstruit avec tous les acteurs, à la fois comme outils d'appropriation, de compréhension, et d'adhésion. L'acceptation sociale étant la clé de la transformation.
- **Enthousiasmant** : nous sommes conscients du traumatisme psychologique induit par la pandémie de COVID19, et sommes d'autant plus persuadés de l'importance de projeter un imaginaire apaisé et apaisant. Le chemin à parcourir devra marquer une rupture. Cette rupture doit être accompagnée, associée à une démarche résolument optimiste pour dessiner ensemble le futur désirable et co-construire les territoires résilients de demain.

A l'œuvre !

ANNEXES

Notes

- ¹ IPCC, 2013 : Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, US
- ² ONU, 2015 : Accord de Paris
- ³ ECMWF, 2020 : Copernicus: 2019 was the second warmest year and the last five years were the warmest on record.
- ⁴ ECMWF, 2020 : New report on European climate confirms 2019 as warmest year.
- ⁵ Grand Duché de Luxembourg, 2018 : Stratégie et plan d'action pour l'adaptation aux effets du changement climatique au Luxembourg.
- ⁶ ONU, 2015, op. cit.
- ⁷ IPCC, 2018 : Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press.
- ⁸ Gouvernement du Grand Duché de Luxembourg, 2018 : Plan national intégré en matière d'énergie et de climat du Luxembourg pour la période 2021-2030.
- ⁹ Commission européenne, 2020 : State of the Union: Commission raises climate ambition and proposes 55% cut in emissions by 2030.
- ¹⁰ Ministère de la Transition Ecologie et Solidaire, 2020 : Stratégie Nationale Bas Carbone, La transition écologique et solidaire vers la neutralité carbone.
- ¹¹ van den Berg, N.J., van Soest, H.L., Hof, A.F. et al. Implications of various effort-sharing approaches for national carbon budgets and emission pathways. *Climatic Change* 162, 1805–1822 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02368-y>
- ¹² United Nations, 2020 : Emissions Gap Report 2020.
- ¹³ IPCC, 2018, op. cit.
- ¹⁴ Global Carbon Budget 2020, by Pierre Friedlingstein, Michael O'Sullivan, Matthew W. Jones, Robbie M. Andrew, Judith Hauck, Are Olsen, Glen P. Peters, Wouter Peters, Julia Pongratz, Stephen Sitch, Corinne Le Quéré, Josep G. Canadell, Philippe Ciais, Robert B. Jackson, Simone Alin, Luiz E. O. C. Aragão, Almut Arneth, Vivek Arora, Nicholas R. Bates, Meike Becker, Alice Benoit-Cattin, Henry C. Bittig, Laurent Bopp, Selma Bultan, Naveen Chandra, Frédéric Chevallier, Louise P. Chini, Wiley Evans, Liesbeth Florentie, Piers M. Forster, Thomas Gasser, Marion Gehlen, Dennis Gilfillan, Thanos Gkritzalis, Luke Gregor, Nicolas Gruber, Ian Harris, Kerstin Hartung, Vanessa Haverd, Richard A. Houghton, Tatiana Ilyina, Atul K. Jain, Emilie Joetzjer, Koji Kadono, Etsushi Kato, Vassilis Kitidis, Jan Ivar Korsbakken, Peter Landschützer, Nathalie Lefèvre, Andrew Lenton, Sebastian Lienert, Zhu Liu, Danica Lombardozzi, Gregg Marland, Nicolas Metz, David R. Munro, Julia E. M. S. Nabel, Shin-Ichiro Nakaoka, Yosuke Niwa, Kevin O'Brien, Tsuneo Ono, Paul I. Palmer, Denis Pierrot, Benjamin Poulter, Laure Resplandy, Eddy Robertson, Christian Rödenbeck, Jörg Schwinger, Roland Séférian, Ingunn Skjelvan, Adam J. P. Smith, Adrienne J. Sutton, Toste Tanhua, Pieter P. Tans, Hanqin Tian, Bronte Tilbrook, Guido van der Werf, Nicolas Vuichard, Anthony P. Walker, Rik Wanninkhof, Andrew J. Watson, David Willis, Andrew J.

Wiltshire, Wenping Yuan, Xu Yue, and Sönke Zaehle (2020), Earth System Science Data, 12, 3269–3340, 2020, DOI: 10.5194/essd-12-3269-2020.

¹⁵ United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2019 : World Population Prospects 2019.

¹⁶ Haut Conseil pour le Climat, 2020 : Maitriser l’empreinte carbone de la France, p. 3.

¹⁷ Stadler, K., Wood, R., Bulavskaya, T., Södersten, C.-J., Simas, M., Schmidt, S., Usubiaga, A., Acosta-Fernández, J., Kuenen, J., Bruckner, M., Giljum, S., Lutter, S., Merciai, S., Schmidt, J.H., Theurl, M.C., Plutzar, C., Kastner, T., Eisenmenger, N., Erb, K.-H., de Koning, A. and Tukker, A. (2018), EXIOBASE 3: Developing a Time Series of Detailed Environmentally Extended Multi-Regional Input-Output Tables. Journal of Industrial Ecology, 22: 502-515. <https://doi.org/10.1111/jiec.12715>

¹⁸ Gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg, 2020 : Inventaire des gaz à effet de serre.

¹⁹ Haut Conseil pour le Climat, 2020 : Maitriser l’empreinte carbone de la France.

²⁰ Ministère de la Transition Ecologie et Solidaire, 2020, op. cit.

²¹ Stadler, K. et al, op. cit.

²³ Bulle, C., Margni, M., Patouillard, L. et al. IMPACT World+: a globally regionalized life cycle impact assessment method. Int J Life Cycle Assess 24, 1653–1674 (2019). <https://doi.org/10.1007/s11367-019-01583-0>

²⁴ Rapport Paris Change d’Ère (paris2050.elioth.com, la Saga de la neutralité carbone pp 181-244 et la note méthodologique sur les sociotypes pp 323-336).

²⁵ Haut Conseil pour le Climat, op. cit.

²⁶ Kaufmann V., Schuler M., Crevoisier O., et P. Rossel (2004). Mobilité et motilité : de l’intention à l’action. EPFL - Cahier du LaSUR 4 : Lausanne

²⁷ Enquête Mobilité durant le confinement, Mobil’homme 2020 (voir ci-dessous)

²⁸ Y. Dubois et al. (2020). Effets de la crise sanitaire ; 2 pratiques et perspectives de la mobilité en Europe. Bureau Mobil’homme : Lausanne (Suisse).

²⁹ Dossier, J., 2019 : Renaissance écologique, 24 chantiers pour le monde de demain.

³⁰ IPCC, 2018, op. cit.

³¹ United Nations, 2019, op. cit.

³² OFCE, ADEME, 2019 : Carbon Consumption Survey.

³³ Statec, 2017 : Projections macroéconomiques et démographiques de long terme : 2017-2060.

³⁴ Conseil Economique et Social, 2020 : Le télétravail au Luxembourg.

³⁵ Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable.

³⁶ ADEME, 2020 : Base Carbone. <https://www.bilans-ges.ademe.fr/>

³⁷ <http://www.changeonsdemenu.lu/>

³⁸ <https://antigaspi.lu>

³⁹ <https://perspective.usherbrooke.ca/bilan/servlet/BMIImportExportPays?codePays=LUX>

⁴⁰ France 24. Interview Ministre de l’Agriculture et de la viticulture. Dans Ici l’Europe. Luxembourg : petit État cherche grands changements agricoles post-covid.

⁴¹ Rustica. Reporterre.net. Réseaux Ferme d’Avenir.

⁴² https://www.lemonde.fr/planete/article/2020/12/11/les-dirigeants-de-l-union-europeenne-s-accordent-pour-reduire-d-au-moins-55-leurs-emissions-de-co2-d-ici-a-2030_6063026_3244.html

⁴³ https://www.lemonde.fr/planete/article/2020/12/12/l-onu-appelle-a-declarer-l-etat-d-urgence-climatique-cinq-ans-apres-l-accord-de-paris_6063176_3244.html

⁴⁴ http://www.granderegion.net/var/site/storage/images/_aliases/gallery_full_image/3/2/6/1/31623-1-fre-FR/LUX_FR_2018.png

Carnet des principales figures

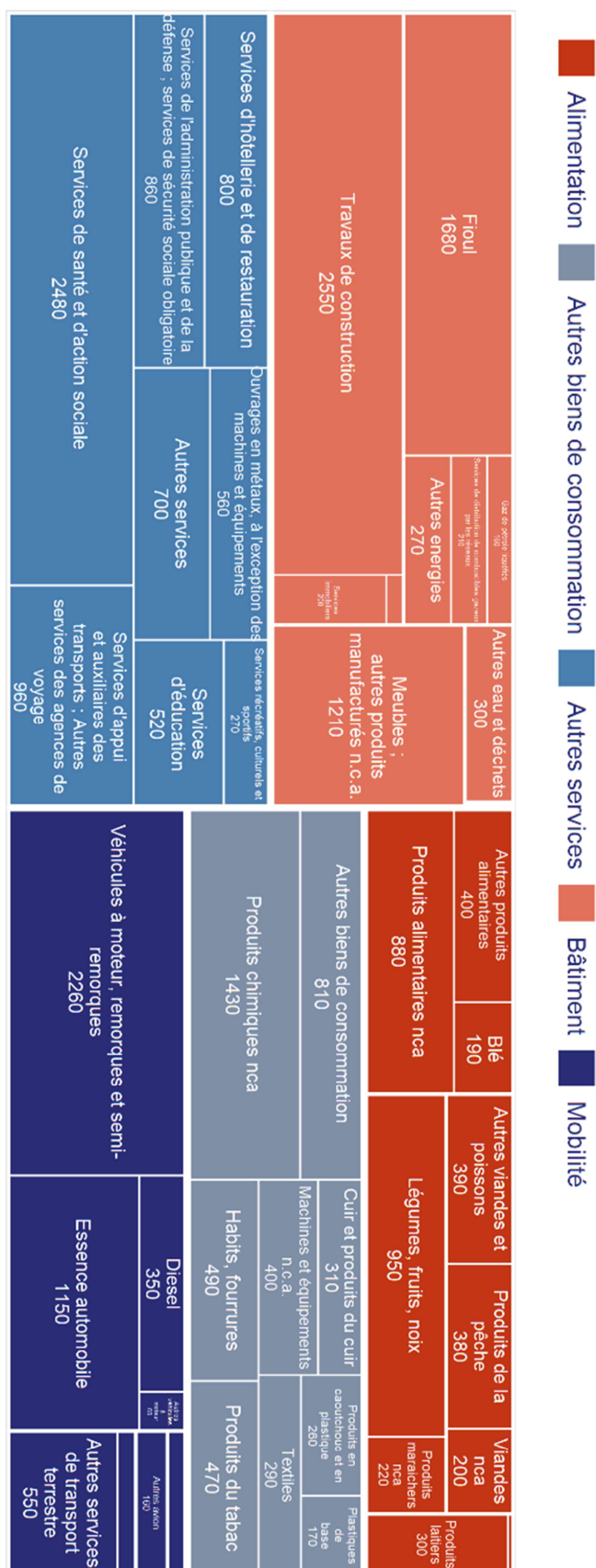


Figure 2 - Répartition de l'empreinte carbone du Luxembourg détaillée par poste de consommation finale (Données Exiobase pour l'année 2018, en kgCO₂e/pers.an ; mise en forme f(lux), 2020)

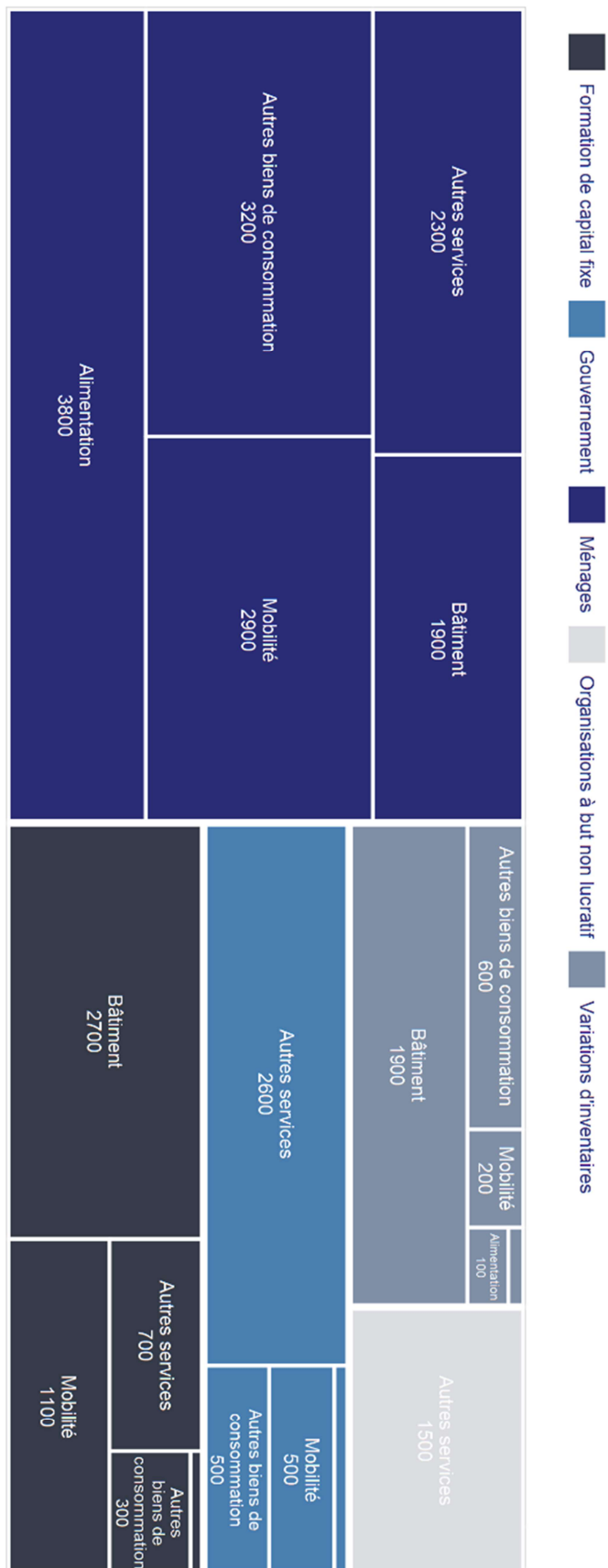


Figure 4 - Répartition de l'empreinte carbone du Luxembourg par secteur et poste de consommation finale (Données Exiobase pour l'année 2018, en kgCO₂e/pers.an ; mise en forme f(lux), 2020)

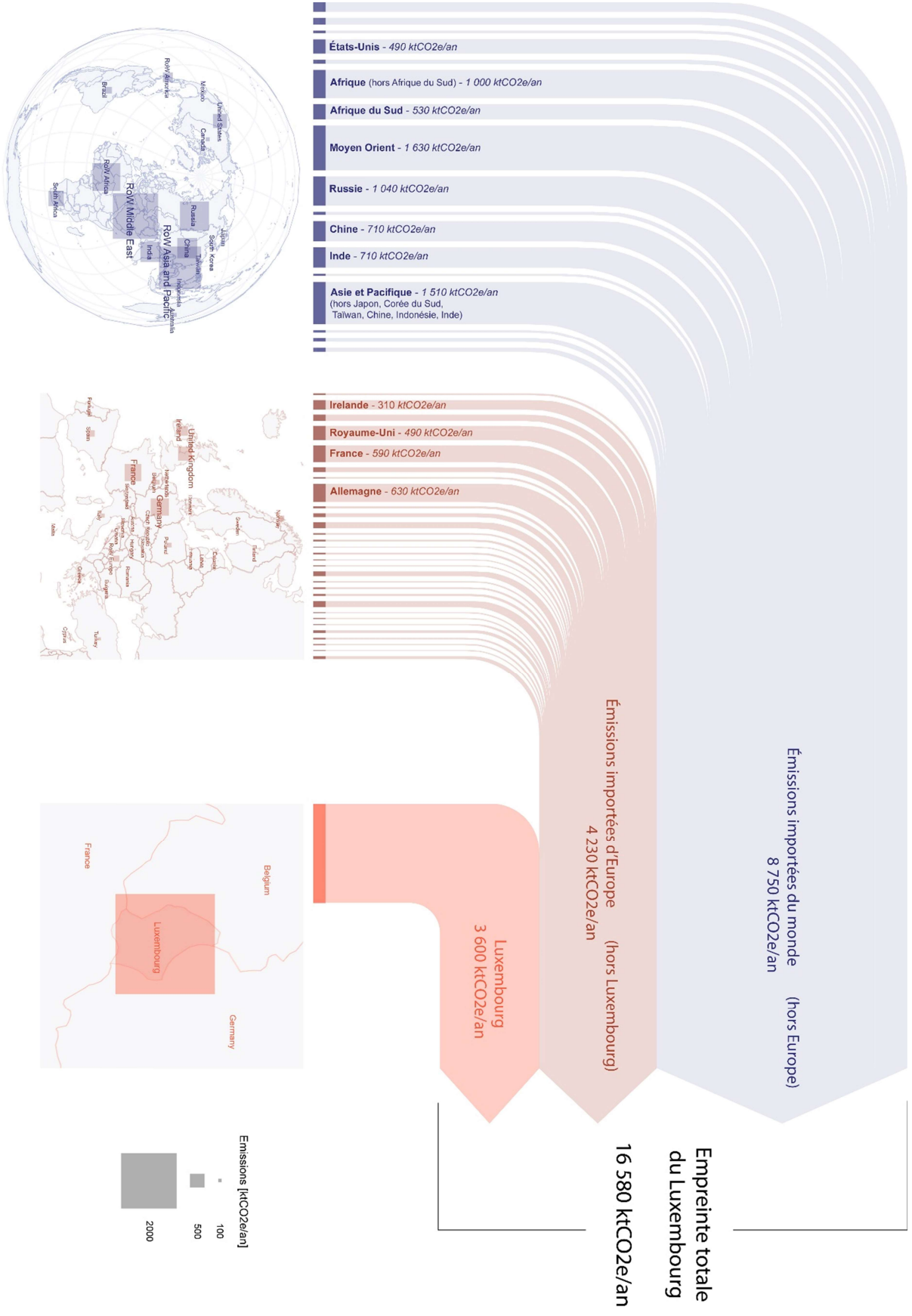


Figure 5 - Répartition de l’empreinte carbone du Luxembourg par pays d’importation (Données Exiobase pour l’année 2018, en ktCO2e/an ; mise en forme f(lux), 2020)

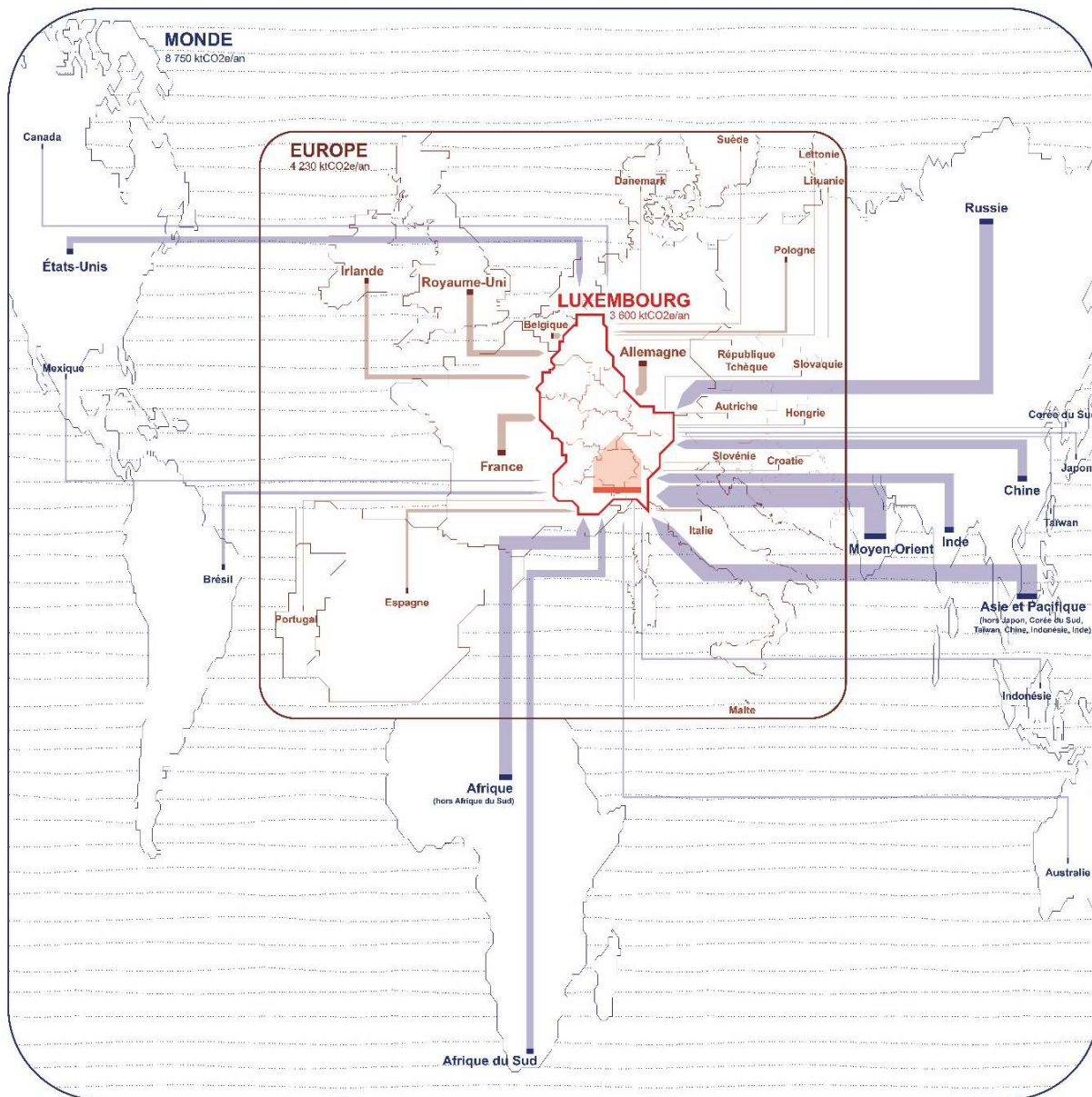


Figure 5bis - Répartition spatialisée de l'empreinte carbone du Luxembourg par pays d'importation (Données Exiobase pour l'année 2018, en ktCO₂e/an ; mise en forme f(lux), 2020)

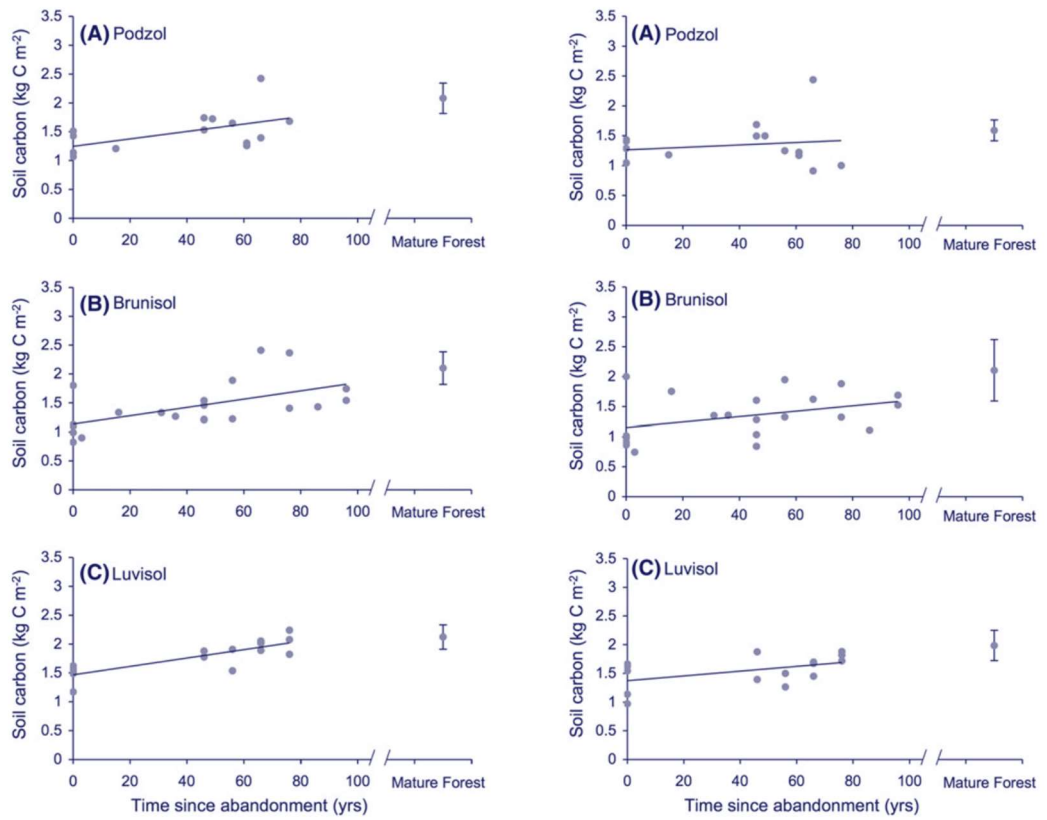


Figure 1 (Foote et al 2010) - stock de carbone dans le sol en fonction de la biomasse végétale et de la productivité végétale

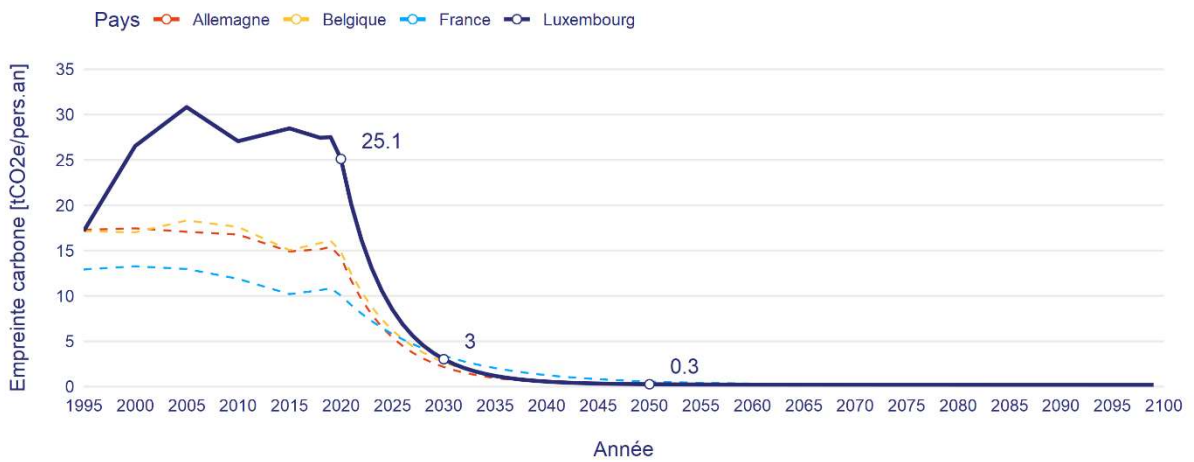
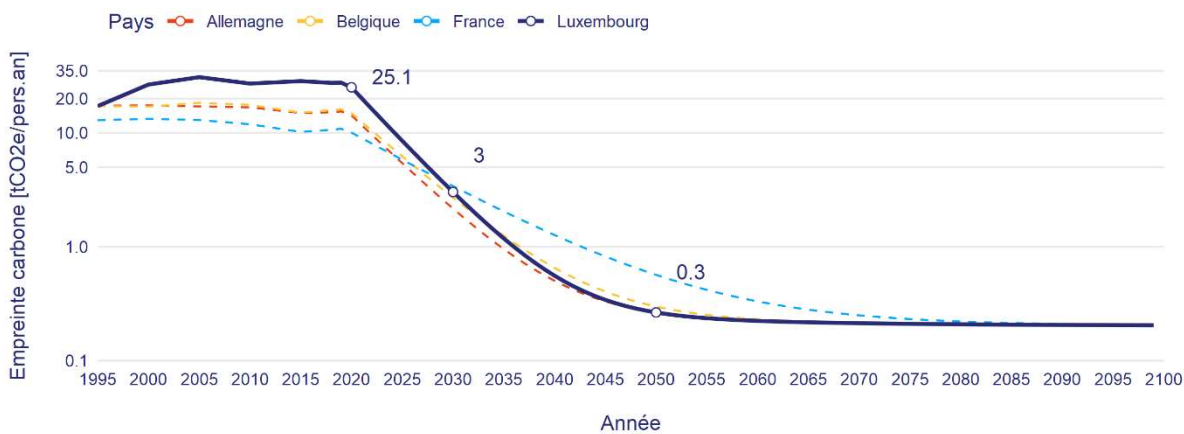


Figure 17 – Evolution de l’empreinte GES par personne dans un scénario 1,5°C (f(lux), 2020)



*Figure 18 – Evolution de l’empreinte carbone par personne dans un scénario 1,5°C selon une échelle logarithmique : une droite signifie que le taux de baisse des émissions est constant.
(f(lux), 2020)*

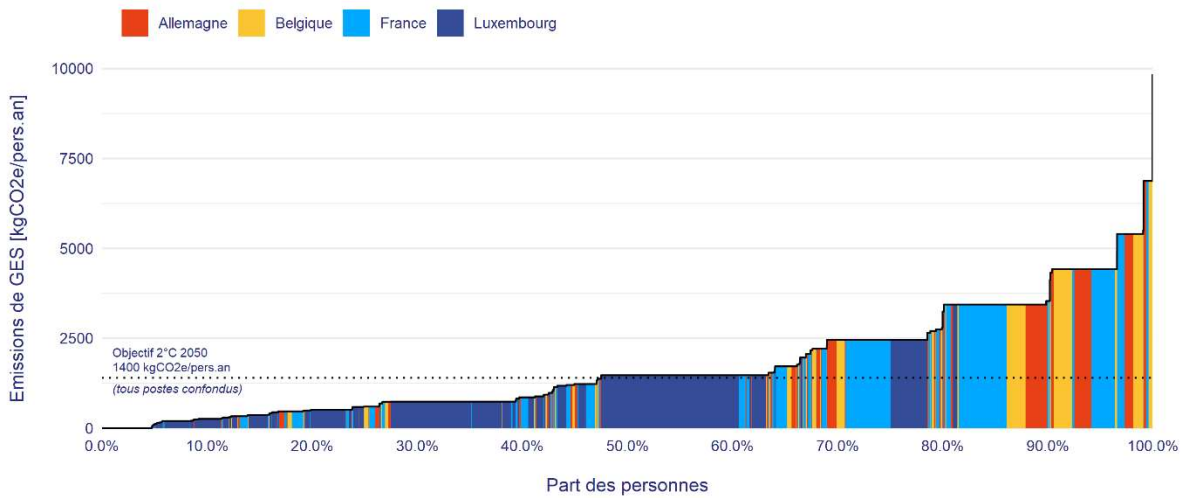


Figure 20 - Estimation des émissions de gaz à effet de serre liés à la mobilité domicile-travail. Postes de consommation d'énergie et fabrication des véhicules, pour toutes les personnes ayant un emploi au Luxembourg. (f(lux), 2020)

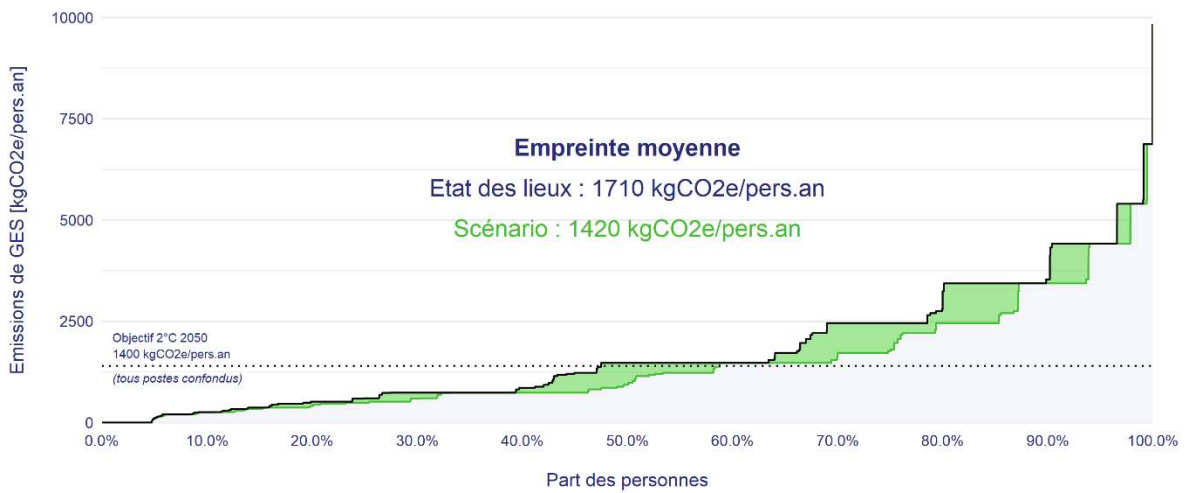


Figure 21 – Effet du covoiturage sur les émissions de GES de la mobilité domicile-travail, pour une augmentation du nombre moyen de passagers des voitures de 1,2 à 1,6. Postes de consommation d'énergie et fabrication des véhicules, pour toutes les personnes ayant un emploi au Luxembourg (f(lux), 2020)

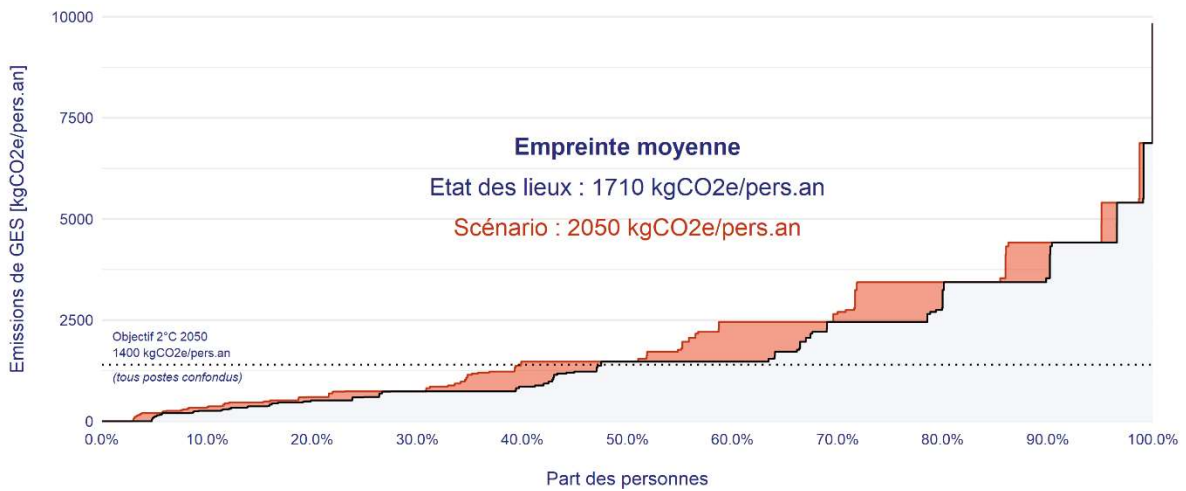


Figure 22 – Effet du taux de frontaliers sur les émissions de GES de la mobilité domicile-travail, pour une augmentation de la part des frontaliers de 46 à 66%. Postes de consommation d'énergie et fabrication des véhicules, pour toutes les personnes ayant un emploi au Luxembourg. (f(lux), 2020)

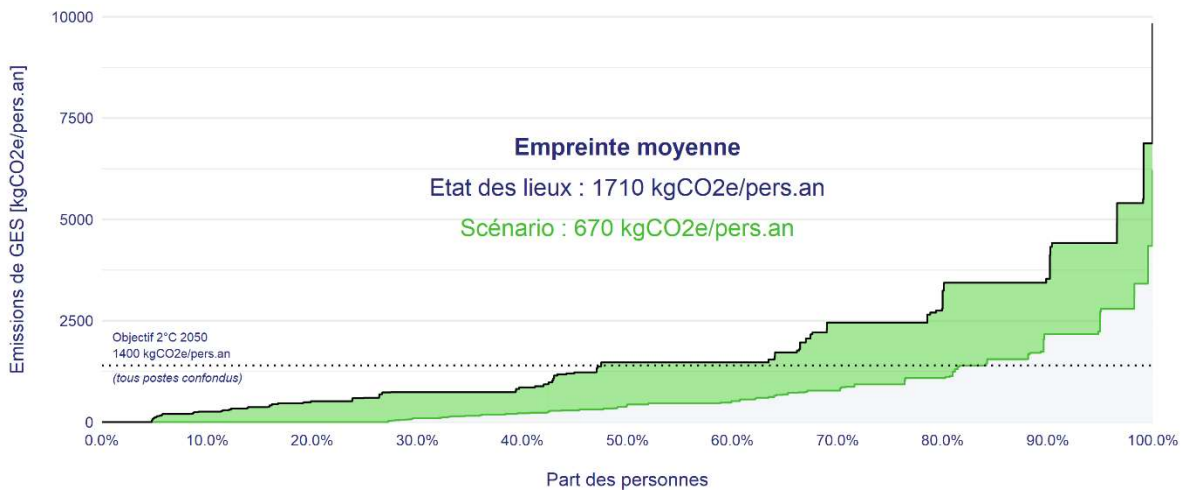


Figure 23 - Effet du taux de frontaliers sur les émissions de GES de la mobilité domicile-travail : part des frontaliers à 66%, véhicules tous électriques, télétravail massif, covoiturage. Postes de consommation d'énergie et fabrication des véhicules, pour toutes les personnes ayant un emploi au Luxembourg. (f(lux), 2020)

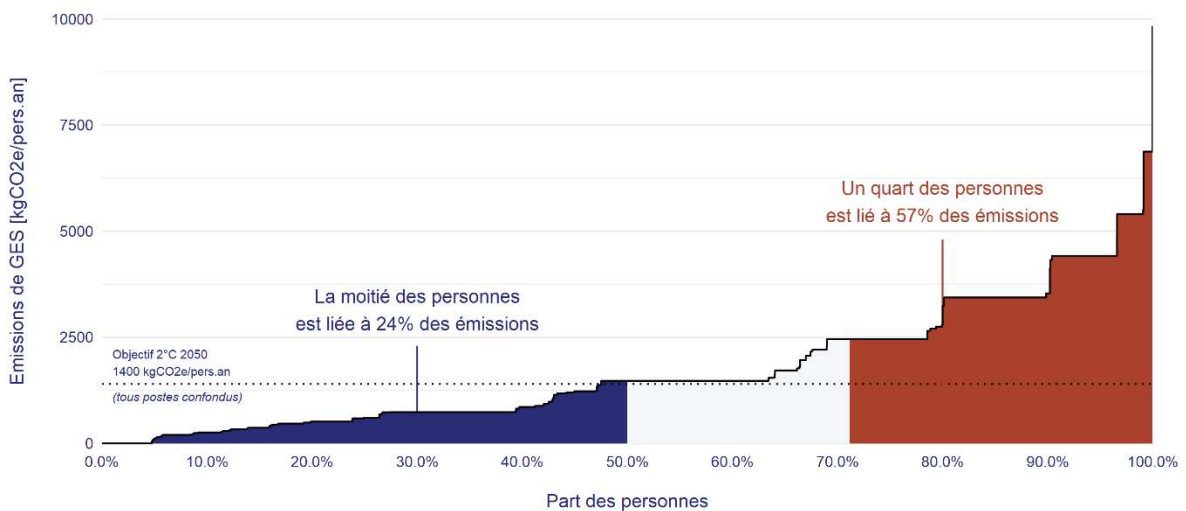


Figure 24 - Estimation des émissions de GES liés à la mobilité domicile-travail. Postes de consommation d'énergie et fabrication des véhicules, pour toutes les personnes ayant un emploi au Luxembourg. (f(lux), 2020)

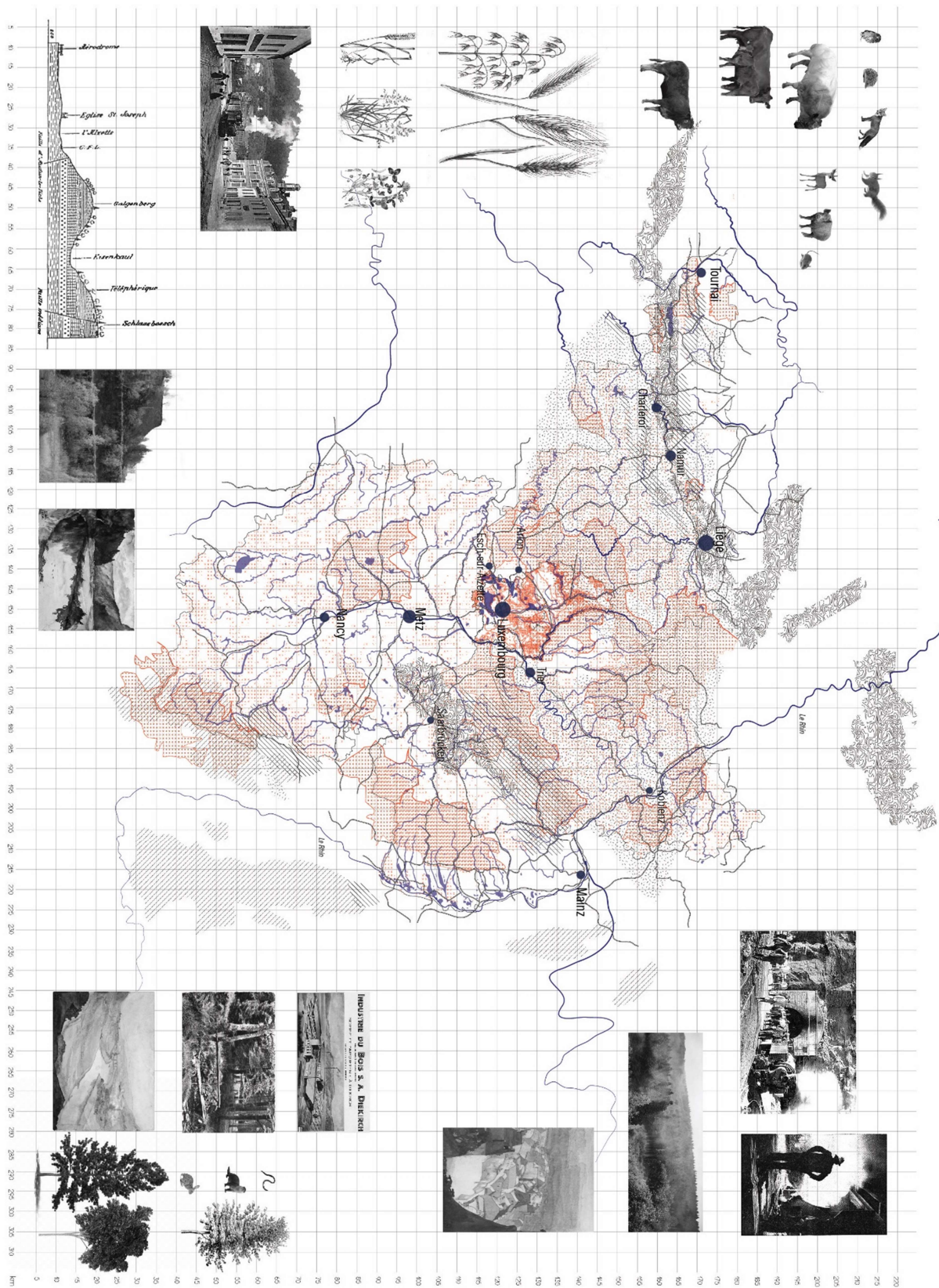


Figure 2 - Les paysages froids de la Grande Région (f(lux), 2020)

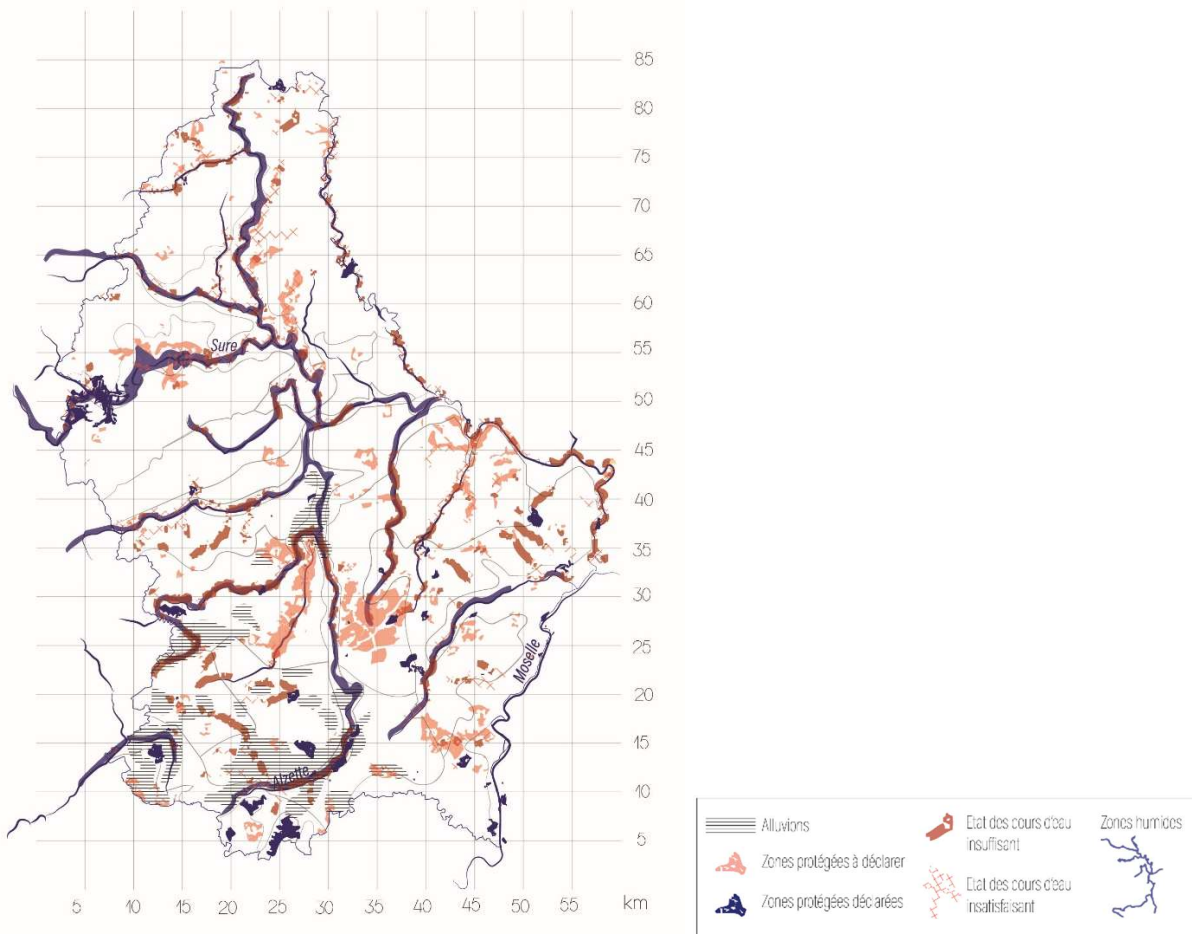
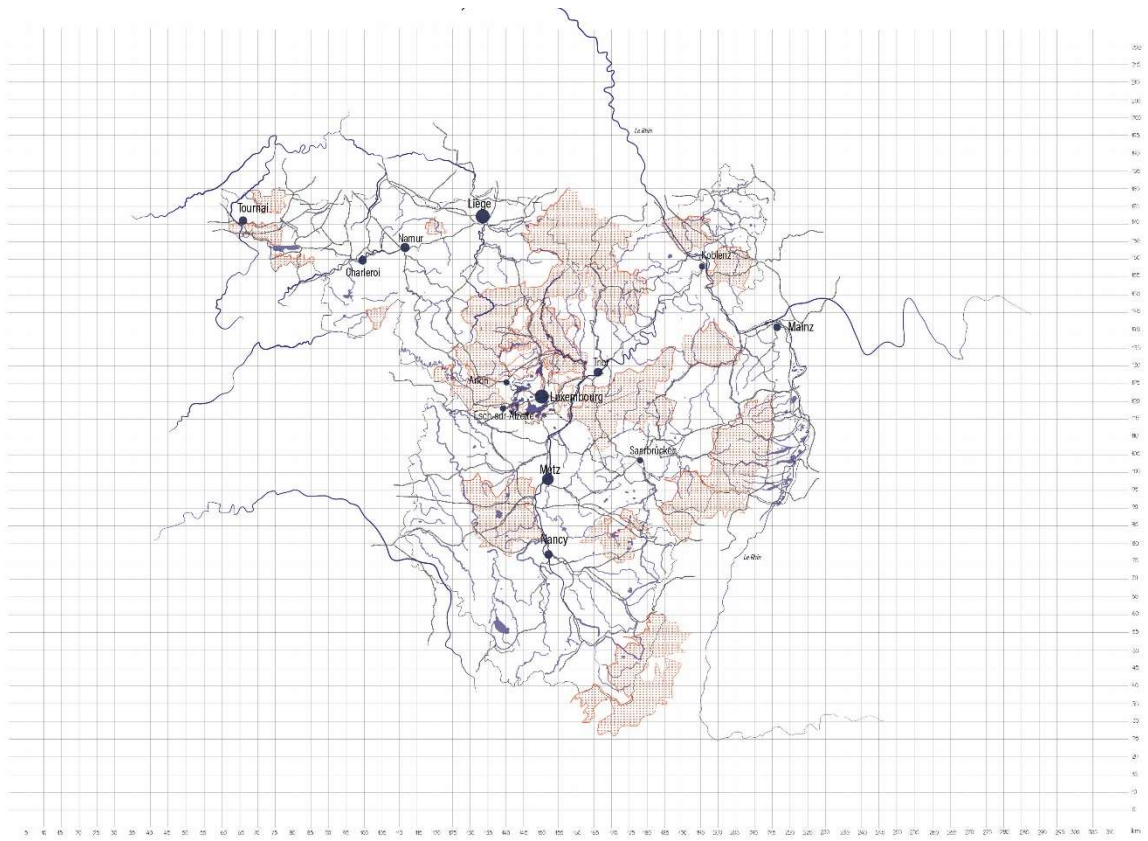


Figure 3 - Les matrices hydrographiques de la Grande Région et du Luxembourg (f(lux), 2020) ; voir cartes en grande taille en annexe.

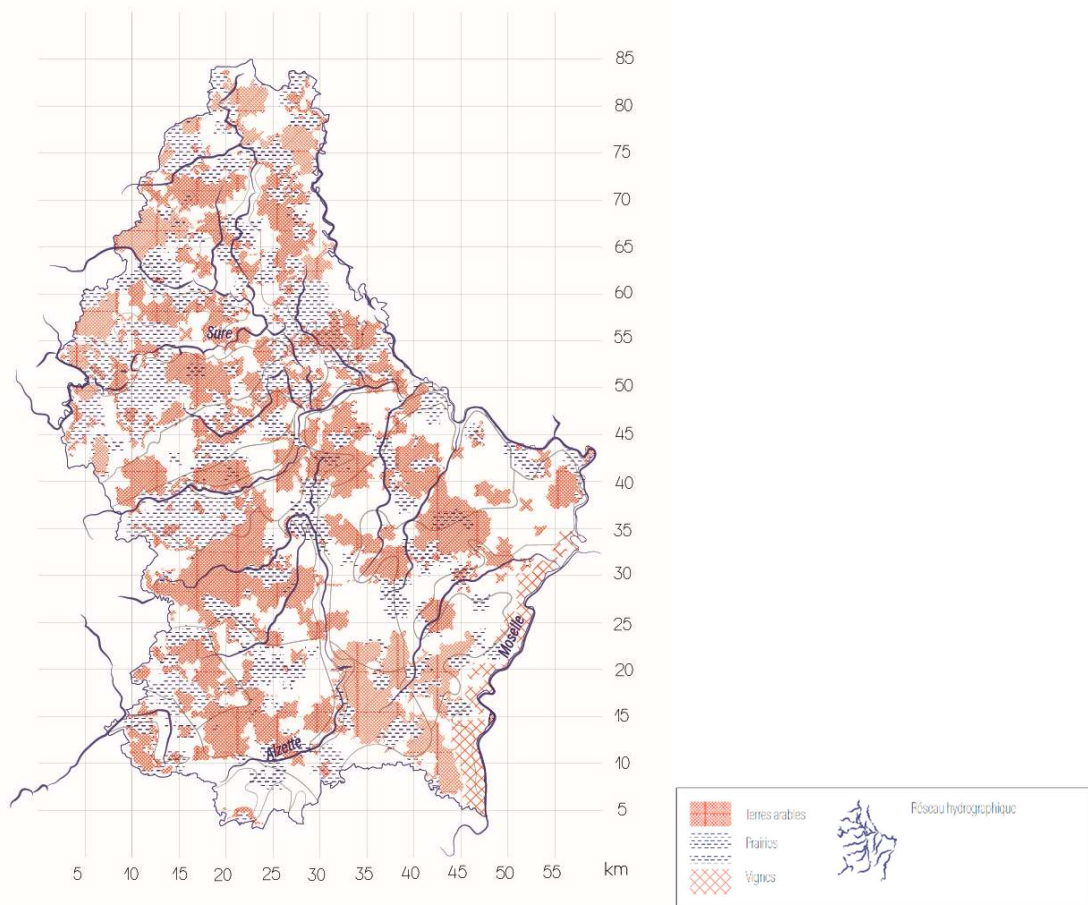
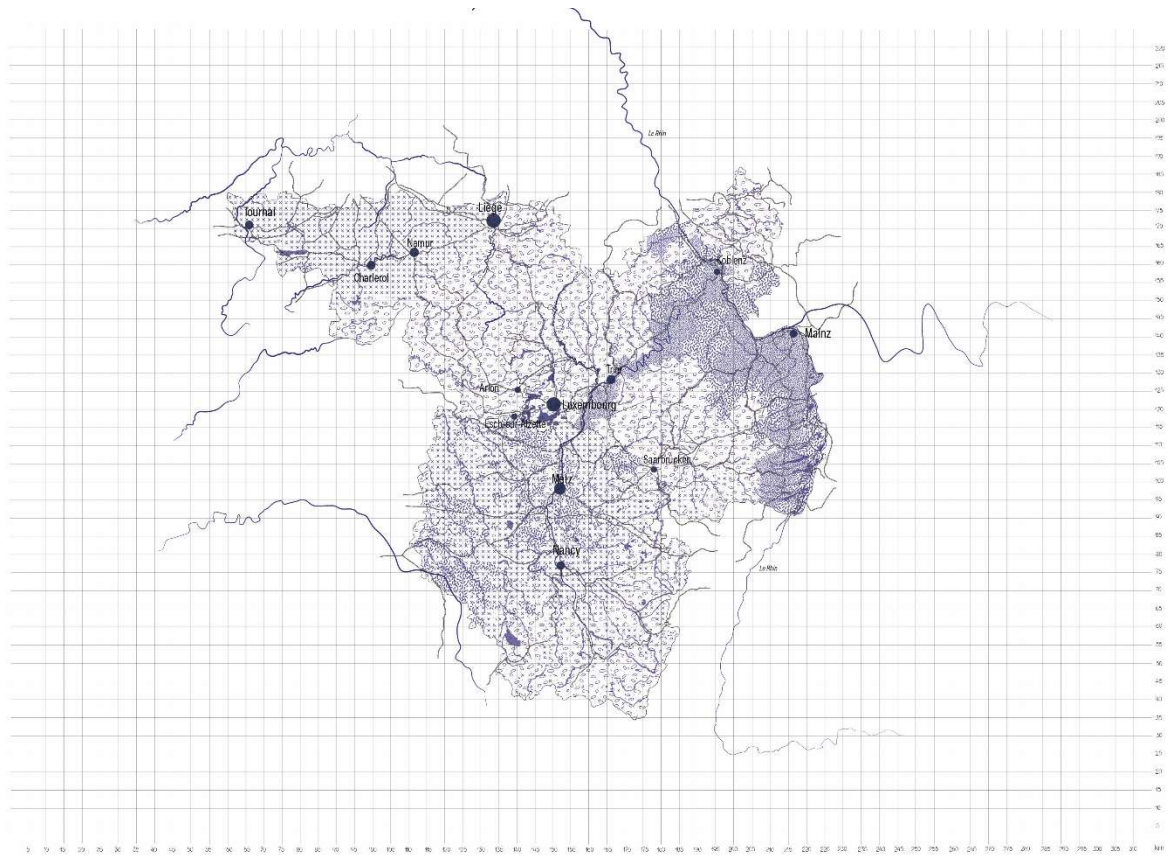


Figure 4 – Paysages productifs de la Grande Région et du Luxembourg (f(lux), 2020)

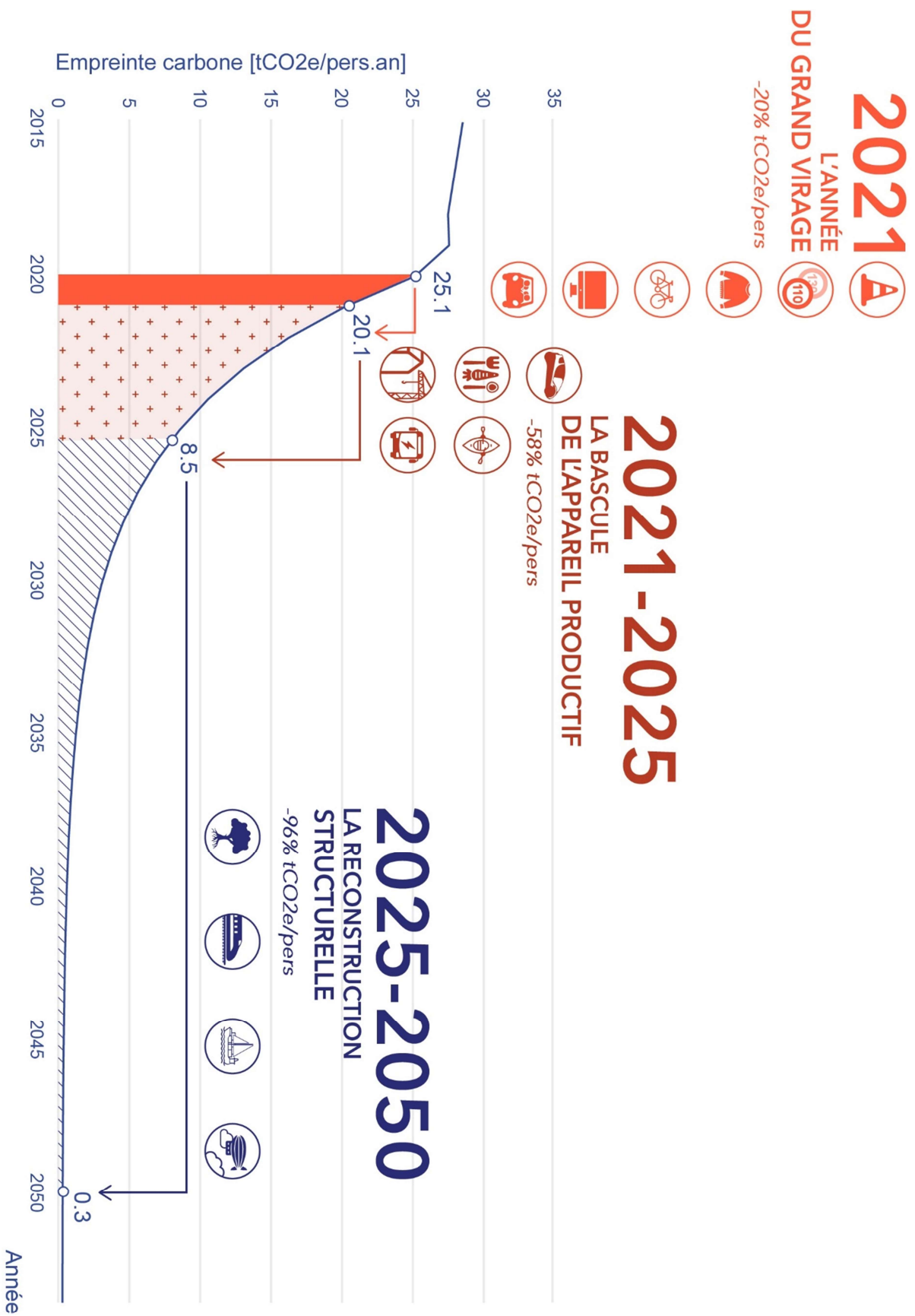


Figure 31 – Du grand virage à la reconstruction structurelle : les trois phases de la Renaissance Ecologique (f(lux), 2020)

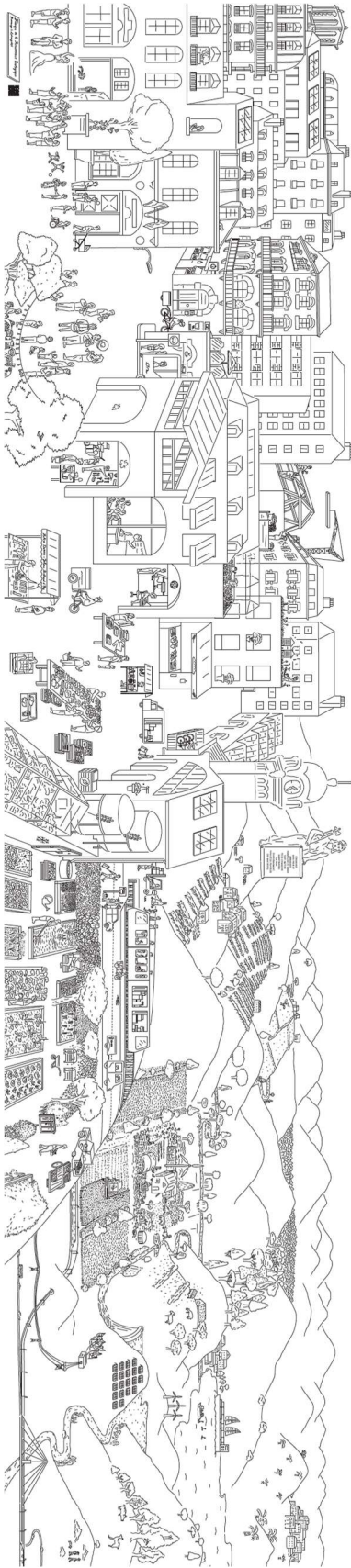


Figure 33 – Fresque de la Renaissance écologique - Hommage à Lorenzetti (Julien Dossier & Johann Bertrand d'Hy, 2015)

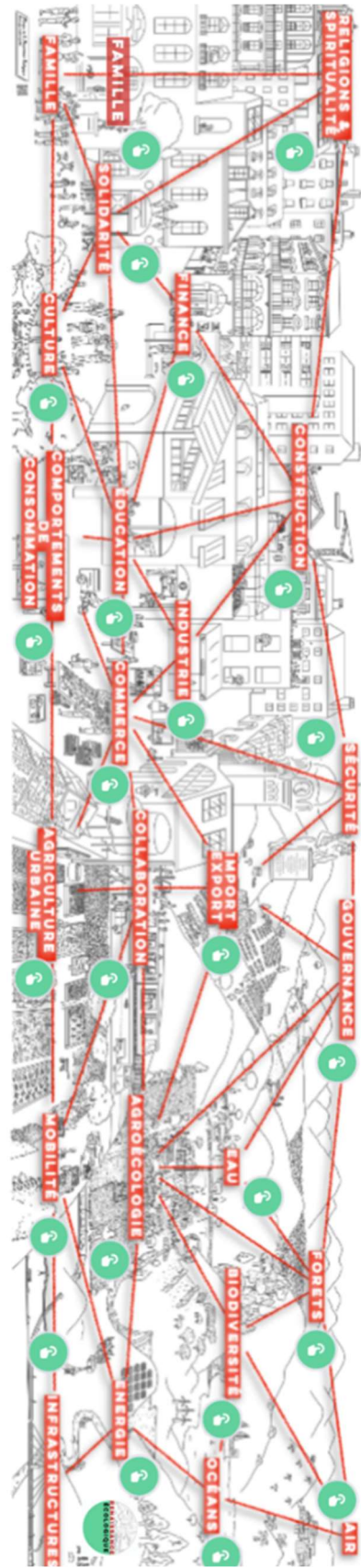


Figure 34 - Exemple d'appropriation citoyenne de la fresque : chaque chantier fait l'objet d'un commentaire vidéo de deux minutes (<https://renaissanceecologique.qrd.by/user?url?id=wmyod3>) (Quattrolibri)

Extraits du rapport Paris Change d'ère

(paris2050.elieth.com, la Saga de la neutralité carbone pp 181-244 et la note méthodologique sur les sociotypes pp 323-336).

(Paris change d'ère, 2016, Ménard, Dossier, Pouchain et al).

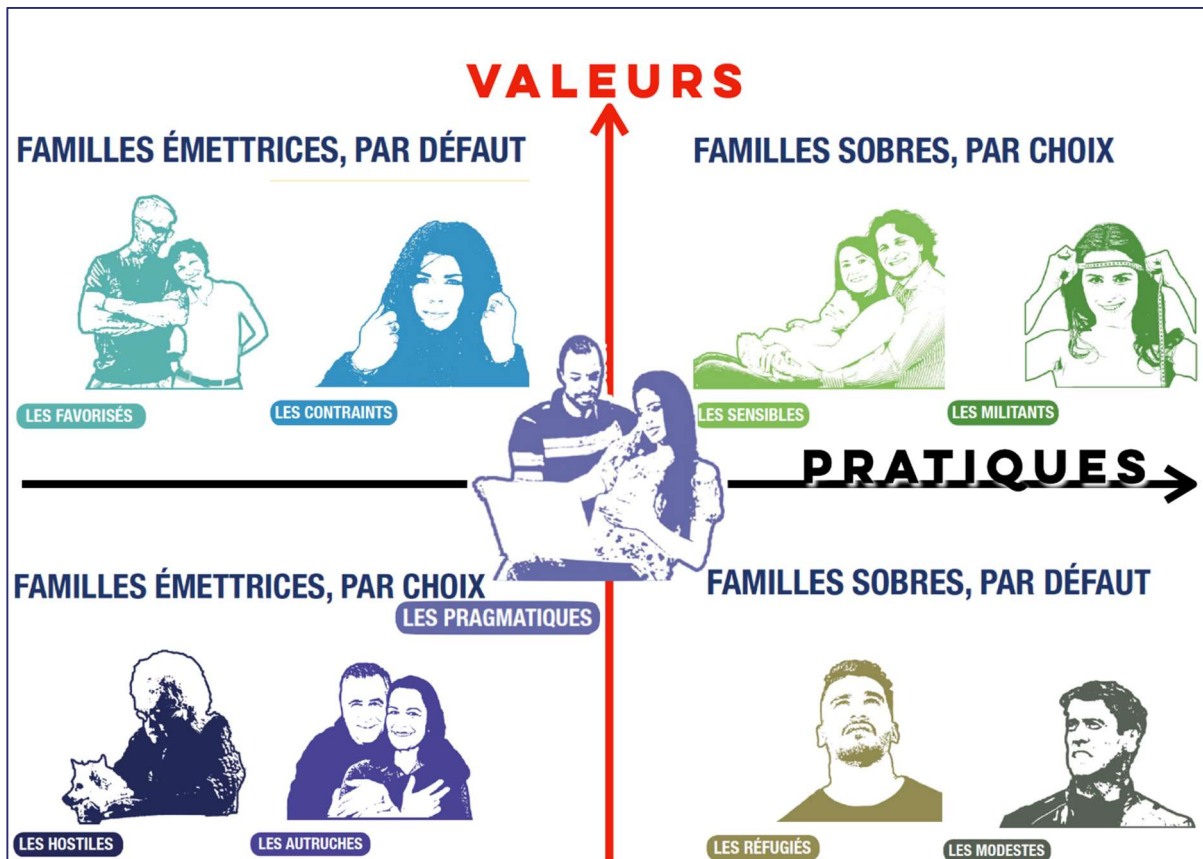
GÉRER LA CHRONOLOGIE DE LA STRATÉGIE DE NEUTRALITÉ CARBONE

EN QUELQUES MOTS

Il n'est jamais l'heure de s'occuper du climat.
 Tout va bien ? Mais alors, pourquoi changer ?
 C'est la crise ? Occupons-nous de l'essentiel à court terme, le long terme attendra.
 Il nous faut surmonter ce décalage horaire permanent et trouver des solutions pour « mettre les pendules à l'heure du climat ».

| 2016-2020 | 2020-2026 | 2026-2032 | 2032-2038 | 2038-2044 | 2044-2050 |
|---|--|---|---|--|--|
| 1 ^{ère} mandature | 2 ^{ème} mandature | 3 ^{ème} mandature | 4 ^{ème} mandature | 5 ^{ème} mandature | 6 ^{ème} mandature |
| Accord de paris Plan climat 2017 | Paris 2024 | 10 ans de l'Accord de Paris | 20 ans de l'Accord de Paris | | 30 ans de l'Accord de Paris |
| Lancement de la stratégie | 1 ^{er} programme d'investissements | 2 ^{ème} programme d'investissements | 3 ^{ème} programme d'investissements (rectificatif) | Adoption massive des usages « neutres en carbone » | Demiers efforts de réduction vers la neutralité |
| Choix des modalités de compensation | 1 ^{ère} campagne d'acquisitions foncières | 2 ^{ème} campagne d'acquisitions foncières 1ers aménage- ments fonciers | 3 ^{ème} campagne d'acquisitions foncières 2nds aménage- ments fonciers | 4 ^{ème} campagne d'acquisitions foncières 3èmes aménage- ments fonciers | 5 ^{ème} campagne d'acquisitions foncières 4èmes aménage- ments fonciers |
| | | Point d'étape 2030 | | | Neutralité carbone 2050 |

| Catégorie | Coordonnées sociologiques |
|------------------------|---|
| Identité | Prénom des Adultes, NOM de la famille, Personae |
| Données démographiques | Type de famille, Age des adultes, Nombre, prénoms et âges des d'enfants, Taille du ménage |
| Données sociologiques | PCS (2003), Métiers des Adultes, Métiers des enfants, Revenus, Nationalité (Français / étranger) |
| Logement | Type de logement, Chauffage, Climatisation, Température été, Température hiver, Statut d'occupation, Superficie, Adresse, Arrondissement, Location via RbnB, Bi-résidentialité |
| Transports | 2 roues, Véhicules (1-3), Modes de déplacements quotidiens, modes de Déplacements France, Nombre de déplacements UE / personne, nombre de Déplacements intercontinentaux / personne |
| Alimentation | Mode d'alimentation: Végan, Végétarien, Flexitarien (viande: <1 repas/2), Omnivore, Carnivore; Nature des produits consommés: Produits locaux / saison, Frais (marchés, primeurs), Grande distribution, Transformés Gaspillage (% jeté) |



| Personae | Leviers d'action | Enjeux |
|--------------------------------|-----------------------------|--|
| LES MILITANTS LES SENSIBLES | Mobiliser Associer | L'enjeu est de mobiliser et d'associer les militants et les sensibles à la politique de neutralité carbone dès la phase d'amorçage. |
| LES CONTRAINTS | Accompagner | L'enjeu est d'accompagner les contraints (prime à la casse, prêt à taux zéro...), y compris grâce à des mesures compensatoires / d'équilibre. |
| LES FAVORISES | Sensibiliser Associer | L'enjeu est de sensibiliser les favorisés à ce décalage entre valeurs et pratiques. En s'associant à la stratégie, les Favorisés peuvent prendre conscience de l'impact de leurs actions. |
| LES AUTRUCHES | Convaincre Contraindre | L'enjeu est de convaincre les autruches de la réalité des enjeux et de l'urgence à agir, quitte à mobiliser des registres de contrainte (réglementaire, financière) pour marquer une rupture avec le « monde d'hier ». |
| LES HOSTILES | Rassurer Accompagner | L'enjeu est de rassurer les Hostiles sur leur identité et de les aider à se projeter dans un monde différent, dans lequel leurs métiers, compétences seront valorisés. |
| LES MODESTES LES REFUGIES | Accompagner Sensibiliser | L'enjeu est d'accompagner les modestes avec des dispositifs incitatifs et financiers, et de les sensibiliser pour éviter un effet rebond. |
| LES PRAGMATIQUES | Mobiliser | L'enjeu est de mobiliser les pragmatiques pour leur permettre d'aller plus loin et jouer un rôle de leader d'opinion. |

Quelques références d'utilisation de la fresque de la Renaissance Ecologique (1/2)

QUATTROLIBRI
BUILDING GREEN BUSINESSES

5. Illustrations



Expo Tous à Table ; Lyon, 2019-2020



Séminaire Villes Durables, HEC, 2017



Nantes Food Forum, 2017



Utilisation en classe de CE1, 2017



Présentation à la Convention Citoyenne pour le Climat, 2019



Interactions avec les QR codes, Nantes, 2019



Séminaire Décathlon, 2019



Séminaire stratégique BNP Real Estate, 2019

Quelques références d'utilisation de la fresque de la Renaissance Écologique (2/2)

QUATTROLIBRI
BUILDING GREEN BUSINESSES



École flottante, Sozunko, Bénin, 2019



École flottante, Sozunko, Bénin, 2019

Extrait du travail sur les aires géo-écologiques : des bassins servants au paysage capital.

GEOGRAPHIES DE LA TRANSITION ECOLOGIQUE

BASSINS VERSANTS POUR L'AUTOSUFFISANCE ALIMENTAIRE, ENERGETIQUE ET CARBONE

1 LE RECIT D'HOPKINS VILLE DE 5000 HABITANTS

(Texte descriptif de la ville de 5000 habitants, incluant des détails sur la population, l'agriculture, et les ressources locales.)

Avant la transition écologique

Pendant la transition

Transition accomplie

2 LE DIAGRAMME AIRE URBAINE - DENSITE ET BASSINS VERSANTS

DENSITE URBAINE

20 pers/ha

10 pers/ha

0,5 km² 2 km² 5 km² 10 km²

AIRE URBAINE

3 UN EXEMPLE EVOLUTION DES BASSINS VERSANTS A ISO-DENSITE

0,5 km² 2 km² 5 km² 10 km²

500 habitants 2 000 habitants 5 000 habitants 10 000 habitants

Avant transition

Pendant transition

Après transition

4 LA CARTE CONCURRENCE DES SOLS ET CONVERGENCE ECOLOGIQUE

Avant la transition écologique

Pendant la transition

Transition accomplie

RM - 01.03.2021

Hypothèses du modèle f(lux)

Economie et urbanisme

- *Nombre d'emplois au Luxembourg (n_jobs)*

| scenario | n_jobs | source |
|-----------------------|--------|--|
| base_2019 | 442941 | Portail des statistiques, Grand Duché de Luxembourg, 2020 : Travailleurs frontaliers occupés au Luxembourg selon la résidence et la nationalité (en 1 000 personnes) 1974 - 2017 |
| proj_2030 | 570000 | Statec, 2017 : Projections macroéconomiques et démographiques de long terme: 2017-2060 |
| proj_2060_0p_growth | 697000 | Statec, 2017 : Projections macroéconomiques et démographiques de long terme: 2017-2060 |
| proj_2060_1.5p_growth | 737000 | Statec, 2017 : Projections macroéconomiques et démographiques de long terme: 2017-2061 |
| proj_2060_3p_growth | 793000 | Statec, 2017 : Projections macroéconomiques et démographiques de long terme: 2017-2062 |
| proj_2060_4.5p_growth | 870000 | Statec, 2017 : Projections macroéconomiques et démographiques de long terme: 2017-2063 |

- *Taux de frontaliers (frontier_worker_share)*

| scenario | frontier_worker_share | source |
|-----------|-----------------------|--|
| base_2019 | 46% | Portail des statistiques, Grand Duché de Luxembourg, 2020 : Travailleurs frontaliers occupés au Luxembourg selon la résidence et la nationalité (en 1 000 personnes) 1974 - 2017 |
| 33p | 33% | Statec, 2017 : Projections macroéconomiques et démographiques de long terme: 2017-2060 |
| 50p | 50% | Statec, 2017 : Projections macroéconomiques et démographiques de long terme: 2017-2061 |
| 66p | 66% | Statec, 2017 : Projections macroéconomiques et démographiques de long terme: 2017-2062 |

- *Origine des frontaliers (frontier_worker_origin_share)*

| scenario | residents | from | to | frontier_worker_origin_share | source |
|----------|-----------|------------|------------|------------------------------|--|
| base | False | france | luxembourg | 52.7% | Portail des statistiques, Grand Duché de Luxembourg, 2020 : Travailleurs frontaliers occupés au Luxembourg selon la résidence et la nationalité (en 1 000 personnes) 1974 - 2017 |
| base | False | germany | luxembourg | 23.7% | Portail des statistiques, Grand Duché de Luxembourg, 2020 : Travailleurs frontaliers occupés au Luxembourg selon la résidence et la nationalité (en 1 000 personnes) 1974 - 2018 |
| base | False | belgium | luxembourg | 23.6% | Portail des statistiques, Grand Duché de Luxembourg, 2020 : Travailleurs frontaliers occupés au Luxembourg selon la résidence et la nationalité (en 1 000 personnes) 1974 - 2019 |
| base | True | luxembourg | luxembourg | 100.0% | Portail des statistiques, Grand Duché de Luxembourg, 2020 : Travailleurs frontaliers occupés au Luxembourg selon la résidence et la nationalité (en 1 000 personnes) 1974 - 2020 |

- *Distribution des distances par liaison (distance_share)*

| from | to | from_dist | to_dist | distance | distance_share | source |
|--------|------------|-----------|---------|----------|----------------|--|
| france | luxembourg | 0 | 5 | 2.5 | 0.00% | Hypothèse groupement d'après les distances moyennes dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| france | luxembourg | 5 | 10 | 7.5 | 0.05% | Hypothèse groupement d'après les distances moyennes dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| france | luxembourg | 10 | 20 | 15 | 6.15% | Hypothèse groupement d'après les distances moyennes dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| france | luxembourg | 20 | 30 | 25 | 31.53% | Hypothèse groupement d'après les distances moyennes dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| france | luxembourg | 30 | 40 | 35 | 36.81% | Hypothèse groupement d'après les distances moyennes dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| france | luxembourg | 40 | 50 | 45 | 18.56% | Hypothèse groupement d'après les distances moyennes dans Département des Transports, |

| | | | | | | |
|---------|------------|----|------|-----|--------|---|
| france | luxembourg | 50 | 60 | 55 | 5.53% | Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. Hypothèse groupement d'après les distances moyennes dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| france | luxembourg | 60 | 80 | 70 | 1.34% | Hypothèse groupement d'après les distances moyennes dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| france | luxembourg | 80 | 1000 | 100 | 0.03% | Hypothèse groupement d'après les distances moyennes dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| germany | luxembourg | 0 | 5 | 2.5 | 0.00% | Hypothèse groupement d'après les distances moyennes dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| germany | luxembourg | 5 | 10 | 7.5 | 0.00% | Hypothèse groupement d'après les distances moyennes dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| germany | luxembourg | 10 | 20 | 15 | 1.48% | Hypothèse groupement d'après les distances moyennes dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| germany | luxembourg | 20 | 30 | 25 | 16.68% | Hypothèse groupement d'après les distances moyennes dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| germany | luxembourg | 30 | 40 | 35 | 35.47% | Hypothèse groupement d'après les distances moyennes dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| germany | luxembourg | 40 | 50 | 45 | 28.89% | Hypothèse groupement d'après les distances moyennes dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| germany | luxembourg | 50 | 60 | 55 | 12.78% | Hypothèse groupement d'après les distances moyennes dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| germany | luxembourg | 60 | 80 | 70 | 4.53% | Hypothèse groupement d'après les distances moyennes dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| germany | luxembourg | 80 | 1000 | 100 | 0.16% | Hypothèse groupement d'après les distances moyennes dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| belgium | luxembourg | 0 | 5 | 2.5 | 0.00% | Hypothèse groupement d'après les distances moyennes dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| belgium | luxembourg | 5 | 10 | 7.5 | 0.00% | Hypothèse groupement d'après les distances moyennes dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| belgium | luxembourg | 10 | 20 | 15 | 0.87% | Hypothèse groupement d'après les distances moyennes dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| belgium | luxembourg | 20 | 30 | 25 | 12.68% | Hypothèse groupement d'après les distances moyennes dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| belgium | luxembourg | 30 | 40 | 35 | 32.80% | Hypothèse groupement d'après les distances moyennes dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| belgium | luxembourg | 40 | 50 | 45 | 31.28% | Hypothèse groupement d'après les distances moyennes dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| belgium | luxembourg | 50 | 60 | 55 | 15.76% | Hypothèse groupement d'après les distances moyennes dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| belgium | luxembourg | 60 | 80 | 70 | 6.34% | Hypothèse groupement d'après les distances moyennes dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| belgium | luxembourg | 80 | 1000 | 100 | 0.27% | Hypothèse groupement d'après les distances moyennes dans Département des Transports, |

| | | | | | | |
|------------|------------|----|------|-----|--------|--|
| | | | | | | Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| luxembourg | luxembourg | 0 | 5 | 2.5 | 6.11% | Hypothèse groupement d'après les distances moyennes dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| luxembourg | luxembourg | 5 | 10 | 7.5 | 29.87% | Hypothèse groupement d'après les distances moyennes dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| luxembourg | luxembourg | 10 | 20 | 15 | 50.91% | Hypothèse groupement d'après les distances moyennes dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| luxembourg | luxembourg | 20 | 30 | 25 | 11.62% | Hypothèse groupement d'après les distances moyennes dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| luxembourg | luxembourg | 30 | 40 | 35 | 1.37% | Hypothèse groupement d'après les distances moyennes dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| luxembourg | luxembourg | 40 | 50 | 45 | 0.12% | Hypothèse groupement d'après les distances moyennes dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| luxembourg | luxembourg | 50 | 60 | 55 | 0.01% | Hypothèse groupement d'après les distances moyennes dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| luxembourg | luxembourg | 60 | 80 | 70 | 0.00% | Hypothèse groupement d'après les distances moyennes dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| luxembourg | luxembourg | 80 | 1000 | 100 | 0.00% | Hypothèse groupement d'après les distances moyennes dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |

● *Parts modales selon la distance (mode_share)*

| scenario | from_dist | to_dist | mode | mode_share | source |
|-----------|-----------|---------|---------|------------|---|
| base_2019 | 0 | 5 | walk | 90% | Hypothèse groupement d'après les parts modales dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| base_2019 | 0 | 5 | bicycle | 5% | Hypothèse groupement d'après les parts modales dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| base_2019 | 0 | 5 | train | 0% | Hypothèse groupement d'après les parts modales dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| base_2019 | 0 | 5 | bus | 0% | Hypothèse groupement d'après les parts modales dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| base_2019 | 0 | 5 | car | 5% | Hypothèse groupement d'après les parts modales dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| base_2019 | 5 | 10 | walk | 0% | Hypothèse groupement d'après les parts modales dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| base_2019 | 5 | 10 | bicycle | 10% | Hypothèse groupement d'après les parts modales dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| base_2019 | 5 | 10 | train | 0% | Hypothèse groupement d'après les parts modales dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| base_2019 | 5 | 10 | bus | 15% | Hypothèse groupement d'après les parts modales dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| base_2019 | 5 | 10 | car | 75% | Hypothèse groupement d'après les parts modales dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| base_2019 | 10 | 20 | walk | 0% | Hypothèse groupement d'après les parts modales dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| base_2019 | 10 | 20 | bicycle | 0% | Hypothèse groupement d'après les parts modales dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| base_2019 | 10 | 20 | train | 10% | Hypothèse groupement d'après les parts modales dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |

| | | | | | |
|-----------|----|------|---------|-----|---|
| base_2019 | 80 | 1000 | bicycle | 0% | Hypothèse groupement d'après les parts modales dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| base_2019 | 80 | 1000 | train | 20% | Hypothèse groupement d'après les parts modales dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| base_2019 | 80 | 1000 | bus | 0% | Hypothèse groupement d'après les parts modales dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| base_2019 | 80 | 1000 | car | 80% | Hypothèse groupement d'après les parts modales dans Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| less_cars | 0 | 5 | walk | 90% | Hypothèse groupement |
| less_cars | 0 | 5 | bicycle | 5% | Hypothèse groupement |
| less_cars | 0 | 5 | train | 0% | Hypothèse groupement |
| less_cars | 0 | 5 | bus | 0% | Hypothèse groupement |
| less_cars | 0 | 5 | car | 5% | Hypothèse groupement |
| less_cars | 5 | 10 | walk | 0% | Hypothèse groupement |
| less_cars | 5 | 10 | bicycle | 60% | Hypothèse groupement |
| less_cars | 5 | 10 | train | 0% | Hypothèse groupement |
| less_cars | 5 | 10 | bus | 15% | Hypothèse groupement |
| less_cars | 5 | 10 | car | 25% | Hypothèse groupement |
| less_cars | 10 | 20 | walk | 0% | Hypothèse groupement |
| less_cars | 10 | 20 | bicycle | 0% | Hypothèse groupement |
| less_cars | 10 | 20 | train | 20% | Hypothèse groupement |
| less_cars | 10 | 20 | bus | 30% | Hypothèse groupement |
| less_cars | 10 | 20 | car | 50% | Hypothèse groupement |
| less_cars | 20 | 30 | walk | 0% | Hypothèse groupement |
| less_cars | 20 | 30 | bicycle | 0% | Hypothèse groupement |
| less_cars | 20 | 30 | train | 25% | Hypothèse groupement |
| less_cars | 20 | 30 | bus | 25% | Hypothèse groupement |
| less_cars | 20 | 30 | car | 50% | Hypothèse groupement |
| less_cars | 30 | 40 | walk | 0% | Hypothèse groupement |
| less_cars | 30 | 40 | bicycle | 0% | Hypothèse groupement |
| less_cars | 30 | 40 | train | 30% | Hypothèse groupement |
| less_cars | 30 | 40 | bus | 20% | Hypothèse groupement |
| less_cars | 30 | 40 | car | 50% | Hypothèse groupement |
| less_cars | 40 | 50 | walk | 0% | Hypothèse groupement |
| less_cars | 40 | 50 | bicycle | 0% | Hypothèse groupement |
| less_cars | 40 | 50 | train | 30% | Hypothèse groupement |
| less_cars | 40 | 50 | bus | 20% | Hypothèse groupement |
| less_cars | 40 | 50 | car | 50% | Hypothèse groupement |
| less_cars | 50 | 60 | walk | 0% | Hypothèse groupement |
| less_cars | 50 | 60 | bicycle | 0% | Hypothèse groupement |
| less_cars | 50 | 60 | train | 30% | Hypothèse groupement |
| less_cars | 50 | 60 | bus | 20% | Hypothèse groupement |
| less_cars | 50 | 60 | car | 50% | Hypothèse groupement |
| less_cars | 60 | 80 | walk | 0% | Hypothèse groupement |
| less_cars | 60 | 80 | bicycle | 0% | Hypothèse groupement |
| less_cars | 60 | 80 | train | 30% | Hypothèse groupement |
| less_cars | 60 | 80 | bus | 20% | Hypothèse groupement |
| less_cars | 60 | 80 | car | 50% | Hypothèse groupement |
| less_cars | 80 | 1000 | walk | 0% | Hypothèse groupement |
| less_cars | 80 | 1000 | bicycle | 0% | Hypothèse groupement |

| | | | | | |
|-----------|----|------|-------|-----|----------------------|
| less_cars | 80 | 1000 | train | 30% | Hypothèse groupement |
| less_cars | 80 | 1000 | bus | 20% | Hypothèse groupement |
| less_cars | 80 | 1000 | car | 50% | Hypothèse groupement |

Usages

● Intensité du télétravail (*workers_share*)

| scenario | remote_work | days_at_work | workers_share | source |
|-----------|----------------|--------------|---------------|--|
| base_2019 | no_remote_work | 235 | 80% | Conseil Economique et Social, 2020 : Le télétravail au Luxembourg. |
| base_2019 | inf_1_day | 235 | 8% | Conseil Economique et Social, 2020 : Le télétravail au Luxembourg. |
| base_2019 | 1_day | 188 | 5% | Conseil Economique et Social, 2020 : Le télétravail au Luxembourg. |
| base_2019 | 2_days | 141 | 4% | Conseil Economique et Social, 2020 : Le télétravail au Luxembourg. |
| base_2019 | 3_days | 94 | 2% | Conseil Economique et Social, 2020 : Le télétravail au Luxembourg. |
| base_2019 | 4_days | 47 | 1% | Conseil Economique et Social, 2020 : Le télétravail au Luxembourg. |
| base_2019 | 5_days | 0 | 0% | Conseil Economique et Social, 2020 : Le télétravail au Luxembourg. |
| remote+ | no_remote_work | 235 | 50% | Hypothèse groupement |
| remote+ | inf_1_day | 235 | 0% | Hypothèse groupement |
| remote+ | 1_day | 188 | 3% | Hypothèse groupement |
| remote+ | 2_days | 141 | 3% | Hypothèse groupement |
| remote+ | 3_days | 94 | 5% | Hypothèse groupement |
| remote+ | 4_days | 47 | 15% | Hypothèse groupement |
| remote+ | 5_days | 0 | 25% | Hypothèse groupement |
| remote- | no_remote_work | 235 | 50% | Hypothèse groupement |
| remote- | inf_1_day | 235 | 20% | Hypothèse groupement |
| remote- | 1_day | 188 | 13% | Hypothèse groupement |
| remote- | 2_days | 141 | 10% | Hypothèse groupement |
| remote- | 3_days | 94 | 5% | Hypothèse groupement |
| remote- | 4_days | 47 | 3% | Hypothèse groupement |
| remote- | 5_days | 0 | 0% | Hypothèse groupement |

● Taux de remplissage des véhicules

| scenario | mode | seat_occ_rate | seat_occ_rate_proba | source |
|-----------|---------|---------------|---------------------|--|
| base_2019 | car | 25% | 80% | Hypothèse groupement d'après Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| base_2019 | car | 50% | 18% | Hypothèse groupement d'après Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| base_2019 | car | 75% | 3% | Hypothèse groupement d'après Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| base_2019 | car | 100% | 0% | Hypothèse groupement d'après Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| base_2019 | bus | 50% | 100% | Hypothèse groupement d'après Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| base_2019 | train | 90% | 100% | Hypothèse groupement d'après Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| base_2019 | walk | 100% | 100% | Hypothèse groupement d'après Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| base_2019 | bicycle | 100% | 100% | Hypothèse groupement d'après Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |

| | | | | |
|-------------|---------|------|------|--|
| ridesharing | car | 25% | 50% | Hypothèse groupement d'après Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| ridesharing | car | 50% | 40% | Hypothèse groupement d'après Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| ridesharing | car | 75% | 10% | Hypothèse groupement d'après Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| ridesharing | car | 100% | 0% | Hypothèse groupement d'après Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| ridesharing | bus | 50% | 100% | Hypothèse groupement d'après Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| ridesharing | train | 90% | 100% | Hypothèse groupement d'après Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| ridesharing | walk | 100% | 100% | Hypothèse groupement d'après Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |
| ridesharing | bicycle | 100% | 100% | Hypothèse groupement d'après Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Modu 2.0, Stratégie pour une mobilité durable. |

Technologie

Parts des différentes technologies de véhicules (technology_share)

| scenario | mode | technology | technology_share | source |
|--------------|---------|------------|------------------|--|
| base_2019 | car | ice | 99% | Données Statec d'après https://www.wort.lu/fr/economie/la-voiture-electrique-n-apparait-pas-encore-comme-la-panacee-5e285cbdda2cc1784e35487d |
| base_2019 | car | electric | 1% | Données Statec d'après https://www.wort.lu/fr/economie/la-voiture-electrique-n-apparait-pas-encore-comme-la-panacee-5e285cbdda2cc1784e35487d |
| base_2019 | train | electric | 100% | Hypothèse groupement |
| base_2019 | bus | ice | 100% | Hypothèse groupement |
| base_2019 | bus | electric | 0% | Hypothèse groupement |
| base_2019 | walk | none | 100% | Hypothèse groupement |
| base_2019 | bicycle | none | 100% | Hypothèse groupement |
| all_electric | car | ice | 0% | Hypothèse groupement |
| all_electric | car | electric | 100% | Hypothèse groupement |
| all_electric | train | electric | 100% | Hypothèse groupement |
| all_electric | bus | ice | 0% | Hypothèse groupement |
| all_electric | bus | electric | 100% | Hypothèse groupement |
| all_electric | walk | none | 100% | Hypothèse groupement |
| all_electric | bicycle | none | 100% | Hypothèse groupement |

● Consommation d'énergie des véhicules (mode_energy_consumption)

| scenario | mode | technology | fuel | mode_energy_consumption | unit | source |
|------------|---------|------------|-------------|-------------------------|-------|--|
| base_2019 | car | ice | diesel | 2.1 | MJ/km | Hypothèse groupement (6 L/100km x 35 MJ/L) |
| base_2019 | car | electric | electricity | 0.576 | MJ/km | Hypothèse groupement d'après https://climobil.connecting-project.lu/ |
| base_2019 | train | electric | electricity | 72 | MJ/km | Hypothèse groupement d'après la Base Carbone de l'ADEME (20 kWh/km) |
| base_2019 | bus | ice | diesel | 17.5 | MJ/km | Hypothèse groupement (50 L/100km x 35 MJ/L) |
| base_2019 | bus | electric | diesel | 4.375 | MJ/km | Hypothèse groupement d'après le ratio moteur à combustion / électrique des voitures |
| base_2019 | walk | none | none | 0 | MJ/km | Hypothèse groupement |
| base_2019 | bicycle | none | none | 0 | MJ/km | Hypothèse groupement |
| efficiency | car | ice | diesel | 1.4 | MJ/km | Hypothèse groupement (L/100km x 35 MJ/L) |

| | | | | | | |
|------------|---------|----------|-------------|-------|-------|--|
| efficiency | car | electric | electricity | 0.576 | MJ/km | Hypothèse groupement d'après https://climobil.connecting-project.lu/ |
| efficiency | train | electric | electricity | 72 | MJ/km | Hypothèse groupement d'après la Base Carbone de l'ADEME (20 kWh/km) |
| efficiency | bus | ice | diesel | 17.5 | MJ/km | Hypothèse groupement (50 L/100km x 35 MJ/L) |
| efficiency | bus | electric | diesel | 4.375 | MJ/km | Hypothèse groupement d'après le ratio moteur à combustion / électrique des voitures |
| efficiency | walk | none | none | 0 | MJ/km | Hypothèse groupement |
| efficiency | bicycle | none | none | 0 | MJ/km | Hypothèse groupement |

- *Intensité GES des énergies (fuel_ghg_intensity)*

| scenario | fuel | fuel_ghg_intensity | unit | source |
|------------|-------------|--------------------|-----------|--|
| base_2019 | diesel | 0.09 | kgCO2e/MJ | Hypothèse groupement d'après la Base Carbone ADEME |
| base_2019 | electricity | 0.1425 | kgCO2e/MJ | Hypothèse groupement d'après https://climobil.connecting-project.lu/ |
| base_2019 | none | 0 | kgCO2e/MJ | Hypothèse groupement |
| low_carbon | diesel | 0.09 | kgCO2e/MJ | Hypothèse groupement d'après la Base Carbone ADEME |
| low_carbon | electricity | 0.013888889 | kgCO2e/MJ | Hypothèse groupement (mix bas carbone = environ 50 gCO2e/kWh) |
| low_carbon | none | 0 | kgCO2e/MJ | Hypothèse groupement |

- *Intensité GES de la fabrication des véhicules (vehicle_fab_ghg)*

| mode | technology | vehicle_fab_ghg | unit | source |
|---------|------------|-----------------|-----------|---|
| car | ice | 0.02 | kgCO2e/km | Hypothèse groupement d'après https://climobil.connecting-project.lu/ |
| car | electric | 0.05 | kgCO2e/km | Hypothèse groupement d'après https://climobil.connecting-project.lu/ |
| train | electric | 2.50 | kgCO2e/km | Hypothèse groupement d'après Crutel, C., 2018 : L'intégration de l'éco conception dans les projets d'infrastructures de transport sur le rail |
| bus | ice | 0.25 | kgCO2e/km | Hypothèse groupement d'après Crutel, C., 2018 : L'intégration de l'éco conception dans les projets d'infrastructures de transport sur le rail |
| bus | electric | 0.63 | kgCO2e/km | Hypothèse groupement d'après le ratio entre voitures électriques et à combustion interne |
| walk | none | 0.00 | kgCO2e/km | Hypothèse groupement |
| bicycle | none | 0.00 | kgCO2e/km | Hypothèse groupement |