

# Rapport phase 2

17 mai 2021

AREP • Taktyk • Quattrolibri • Mobil'homme •  
Institut pour la transition environnementale -  
Sorbonne Université

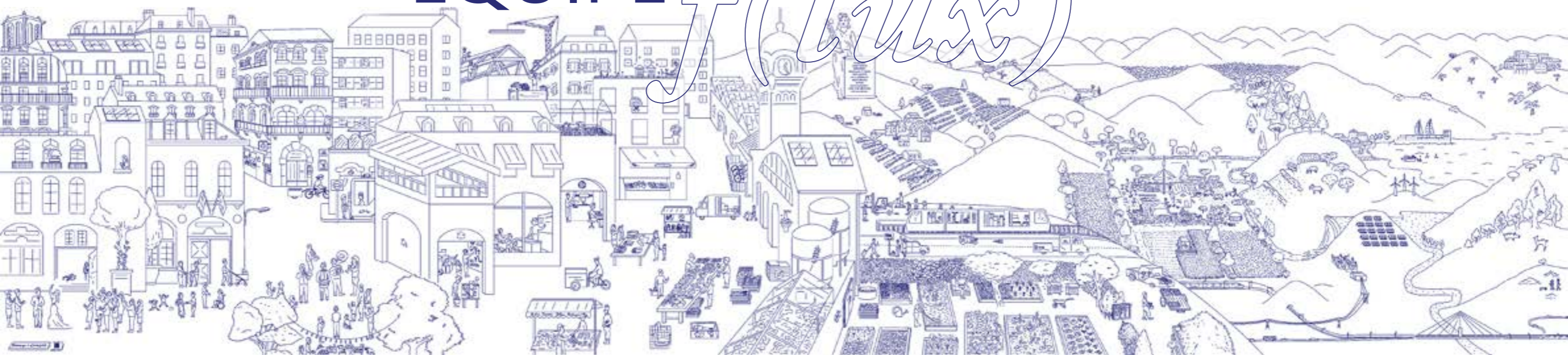


LE GOUVERNEMENT  
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG  
Ministère de l'Énergie et de  
l'Aménagement du territoire

LUXEMBOURG IN  
**TRANSITION**

# PAYSAGE CAPITAL

# ÉQUIPE *f(lux)*



## TABLE DES MATIÈRES

---

<b>Introduction</b>	<b>4</b>
<b>1. Notre vision pour la région fonctionnelle luxembourgeoise</b>	<b>14</b>
1.1. QUEL "ATTERRISSAGE" POUR LA RÉGION FONCTIONNELLE EN 2050?	15
1.2. DÉCARBONER LES MOBILITÉS	18
1.3. VERS UN NOUVEL URBANISME AGRICOLE	24
1.4. RÉINVESTIR LA FORÊT, CAPITAL CARBONE DU LUXEMBOURG	30
1.5. VERS LA « ZÉRO ARTIFICIALISATION BRUTE »	34
1.6. DÉCLINAISON DE LA STRATÉGIE À HORIZONS 2022, 2030 ET 2050"	37
1.7. ÉVOLUTION DU MODE D'OCCUPATION DES SOLS	40
<b>2. Mise en œuvre de la stratégie au travers de 4 cas d'études</b>	<b>43</b>
2.1. CHOIX DES 4 SITES D'ÉTUDES	44
2.2. <b>ÉLANGE</b> : TRANSFORMER UNE ZONE PAVILLONNAIRE SATELLITE EN LIEU DE VIE HYBRIDE	46
2.2.1. UN QUARTIER SATELLITE AUX PORTES DU LUXEMBOURG	47
2.2.2. <b>2022 - 2050</b> - DU QUARTIER SATELLITE AU LIEU DE VIE HYBRIDE	51
2.3. <b>POMMERLOCH</b> : PRÉPARER L'APRÈS PÉTROLE D'UNE ZONE COMMERCIALE ISOLÉE	56
2.3.1. UNE ZONE COMMERCIALE DÉCONNECTÉE DE SON ENVIRONNEMENT PROCHE	57
2.3.2. <b>2022 - 2050</b> - RECONNECTER LA STATION OFFSHORE À SON HINTERLAND	61
2.4. <b>DIEKIRCH</b> : IMAGINER LA VALLÉE PRODUCTIVE DE DEMAIN	64
2.4.1. UNE VALLÉE PRODUCTIVE STRUCTURÉE AUTOUR DE L'AUTOMOBILE	65
2.4.2. <b>2022 - 2050</b> - IMAGINER LA VALLÉE PRODUCTIVE DE DEMAIN	68
2.5. <b>LUXEMBOURG VILLE</b> : RENFORCER L'AUTOSUFFISANCE DE LA VILLE CAPITALE	71
2.5.1. VOYAGE AU CŒUR DE L'ANTHROPOCÈNE	72
2.5.2. <b>2022 - 2050</b> - RENFORCER L'AUTOSUFFISANCE DE LA VILLE CAPITALE	76

## TABLE DES MATIÈRES

---

<b>3. Stratégie de réaffectation des terres à l'échelle de la région fonctionnelle et du Grand-Duché du Luxembourg</b>	<b>80</b>
3.1. INTRODUCTION	81
3.2. ÉVOLUTION DES SURFACES RETENUES	82
3.3. TAUX MOYENS DE SÉQUESTRATION DANS L'ENSEMBLE SOL + VÉGÉTATION RETENUS	83
3.4. EVOLUTION DU TAUX DE SÉQUESTRATION DU CARBONE ET DU CO2 DANS LA RÉGION FONCTIONNELLE ET AU LUXEMBOURG	84
3.5. COMMENTAIRES ET CONCLUSIONS	85
<b>4. Modélisation de l'impact carbone du projet f(lux)</b>	<b>87</b>
4.1. MODÉLISATION DE L'IMPACT CARBONE DU PROJET F(LUX) À L'ÉCHELLE DE LA RÉGION FONCTIONNELLE ET DES 4 SITES D'ÉTUDES	88
4.1.1. TRAJECTOIRES +1.5°C ET 2°C DE LA RÉGION FONCTIONNELLE	89
4.1.2. LE MODÈLE F(LUX), VERSION 0.2	90
4.1.3. LEVIERS D'ACTIONS INTÉGRÉS AU MODÈLE	94
4.1.4. RÉSULTATS DE LA MODÉLISATION	99
<b>5. Conclusion</b>	<b>108</b>

# Introduction

# PRÉAMBULE

## MODÈLE *f(lux)* 0.1 ET LECTURE SYSTÉMIQUE

La première phase de la consultation consistait à élaborer un cadre méthodologique du projet de transition. A cet effet, nous avons posé le socle de notre démarche, basée sur deux grandes thématiques que sont d'une part la mobilité comme source majeure d'émission de GES, et, d'autre part, la séquestration de carbone par les sols et la biodiversité. Cette démarche a fait l'objet de l'élaboration d'un modèle spécifique - le modèle *f(lux)* - qui nous a permis de quantifier et d'analyser les grandes métriques de la région fonctionnelle, d'identifier ses principaux postes d'émissions et de les découper en secteurs et en différentes parts de la population. Nous avons également proposé une lecture systématique de la décarbonation.

## STRATÉGIE SPATIALISÉE ET OPPORTUNITÉS DE LA RÉGION FONCTIONNELLE

Dans cette deuxième étape, nous présentons le projet de transition adapté à la région fonctionnelle transfrontalière.

Les bases de notre vision générale de la transition sont posées, et la stratégie d'intervention générale est précisée. Face au défi qui nous attend et aux premières modélisations effectuées, le projet proposé fait appel à quelques formes de radicalité dans les propositions, et nous engage à être très ambitieux dans la mise en oeuvre. Il faudra alors "diminuer les émissions le plus

rapidement possible, dans la limite de ce qui est socialement, techniquement et physiquement possible".

Nous avons fait le choix d'une projection en 2050, au travers d'une mise en récit d'un futur désirable, tout en traduisant les actions qui auront été nécessaires à la décarbonation, aussi réalistes que radicales (zéro artificialisation brute, post croissance et démobilité....). Toute notre approche est guidée par le sol et son usage.

Nous présentons ensuite les spécificités de la région fonctionnelle transfrontalière, qui donnent à ce territoire une opportunité exceptionnelle dans la transition vers 2050. Sa géomorphologie, l'usage de ses sols, la composition de ses paysages et la proximité entre la ville et la campagne sont des atouts indéniables pour engager le projet de Paysage Capital[e], que nous avons esquissé lors de la première phase, et que nous approfondissons ici.

## LE SOL, MATIÈRE PREMIÈRE DE LA TRANSITION

L'usage des sols et l'objectif de réduction de l'empreinte géoécologique des territoires se traduisent par quatre grandes actions, issues de la phase 1 : la décarbonation de la mobilité, l'invention d'un nouvel urbanisme agricole, le renouveau de la gestion de la forêt et la définition d'un nouveau principe de zéro artificialisation brute des sols.

Nous décrivons alors les principes d'un nouvel urbanisme post-carbone à travers la cartographie de quatre sites de projet, qui peuvent être vus comme les archétypes d'un urbanisme décrié comme étant le plus consommateur de CO<sub>2</sub>, tout en exprimant les singularités d'un territoire transfrontalier, qui exerce des forces centrifuges vers le cœur économique de Luxembourg Ville.

Ces quatre sites de projet ont fait l'objet d'une modélisation de leur empreinte carbone, grâce au modèle *f(lux)* élaboré en phase 1, et enrichi par un développement du niveau de détail du modèle, plutôt qu'une couverture exhaustive de la région fonctionnelle et de tous les postes de l'empreinte carbone de ses habitants. La version 0.2 du modèle donne une résolution spatiale et sociale détaillée aux estimations d'empreinte carbone, ce qui aide à concevoir des stratégies de décarbonation efficaces et contextualisées.

Enfin, nous terminerons par la stratégie approfondie de séquestration de carbone proposée qui sera à intégrer au modèle *f(lux)* pour participer à l'effort collectif proposé à travers la stratégie globale de décarbonation.

# APPROCHE, MÉTHODE ET TEMPORALITÉS (2022, 2030, 2050)

## STRATÉGIE GÉNÉRALE

**Face au défi de la décarbonation, nous proposons à travers cette nouvelle étape une mise en récit du Paysage capital[e] en 2050, un projet spatialisé de la transition souhaitable, désirable et optimiste, pour se projeter dans les actions à mettre en œuvre d'ici là pour le concrétiser.**

### LA MÉTHODE BACK CASTING

Pour préciser notre vision stratégique de la transition de la région fonctionnelle luxembourgeoise, nous avons choisi de nous appuyer sur la méthode dite de « backcasting ».

Prenant acte du fait que les scénarios tendanciels nous éloignent de plus en plus des cibles climatiques définies lors des différentes COP, il nous a en effet semblé nécessaire de faire un bond vers 2050, afin d'esquisser ce à quoi pourrait ressembler un atterrissage « nécessaire et suffisant » de la région fonctionnelle. Partant de cet état cible, nous en avons ensuite déduit un jalon intermédiaire à horizon 2030, ainsi que les premières actions de rupture à initier dès 2022 pour déjouer les scénarios tendanciels et engager pleinement la transition climatique de la région fonctionnelle.

Cette méthode permet de décrire, d'imaginer, de dessiner le paysage désirable, souhaitable et enthousiasmant, et non pas de l'élaborer dans une vision déconnectée des singularités de la région fonctionnelle.

### UN MANTRA : AVANCER PAR ÉTAPE DÈS MAINTENANT

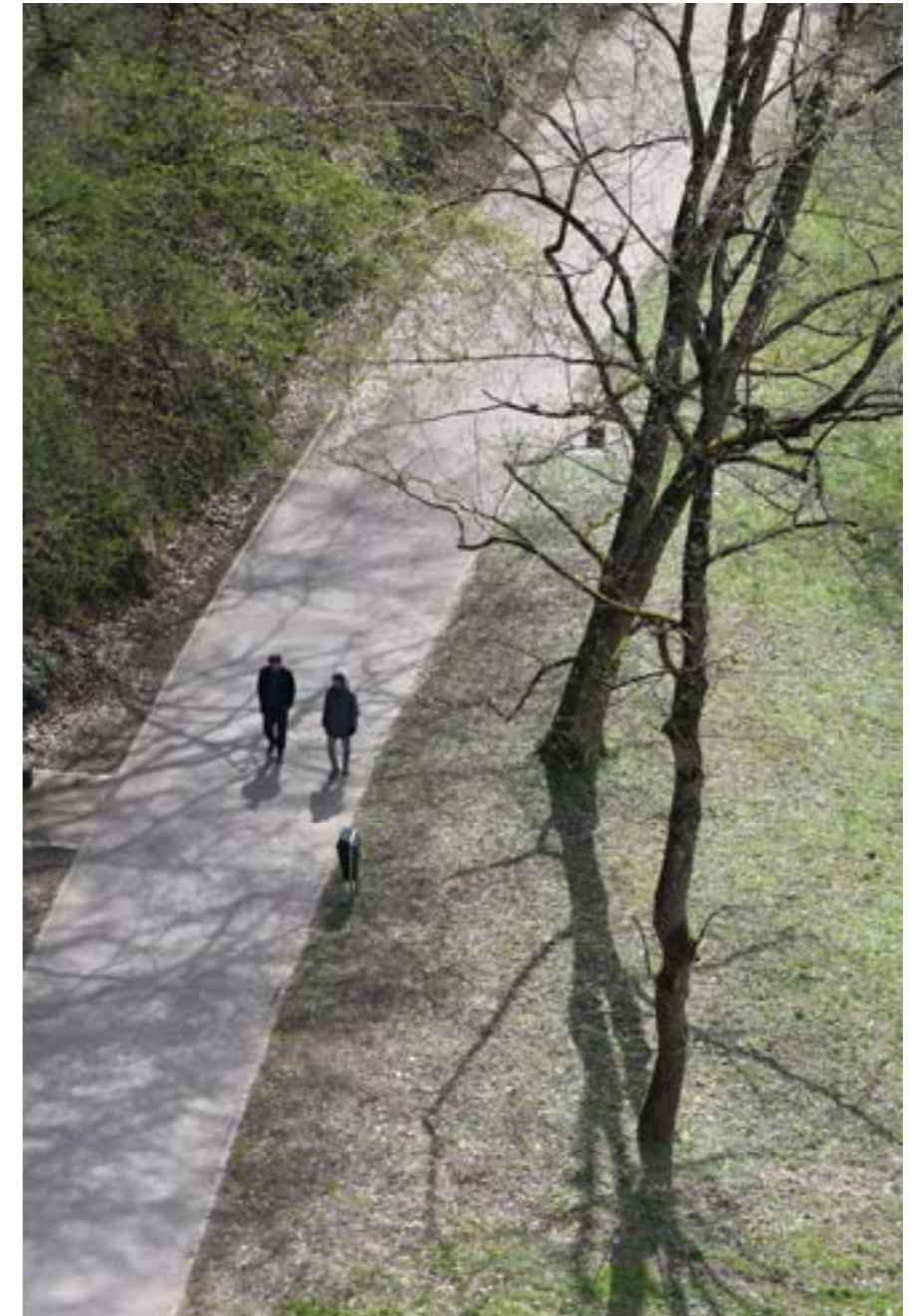
Face à l'ampleur du défi, il ne s'agit pas de poser ici des grandes actions structurelles qui ne seraient effectives qu'en 2050. Il faut dès à présent « faire tout ce qu'il est possible de faire, le plus rapidement possible, et partout ».

La méthode consiste également à s'appuyer sur le low-tech et les aménagements tactiques pour enclencher la descente du carbone dès 2022 et envoyer un signal à tous les acteurs devant converger dans la transition.

### MOBILITÉ, SÉQUESTRATION, PRODUCTION AGRICOLE : UNE AFFAIRE DE SOL

Nous poursuivons ici notre approche croisant métrique de la transition et spatialisation au travers des thèmes explorés dans la phase précédente. Notre démarche continue d'exploiter le modèle  $f(lux)$ , élaboré précédemment. Ces thématiques de travail nous permettent d'aborder pleinement la question du sol.

Pour affiner notre modèle  $f(lux)$ , nous avons privilégié un développement du niveau de détail du modèle à partir de ces thèmes précédemment retenus, plutôt qu'une couverture exhaustive de la région fonctionnelle et de tous les postes de l'empreinte carbone de ses habitants.



# DE LA NÉCESSITÉ D'INVENTER UN MONDE DE « POST-CROISSANCE »

PHILIPPE BIHOUIX

**Pourrons-nous prolonger la croissance économique tout en réussissant à nous réinscrire dans les limites planétaires, grâce aux technologies vertes, aux énergies renouvelables, au développement de l'économie circulaire et du recyclage, à l'utilisation de matières biosourcées, aux potentialités et optimisations offertes par les usages numériques ?**

Il sera pour cela nécessaire de « dématérialiser » le système économique, de découpler la croissance de la consommation de ressources; des considérations qui ne sont pas nouvelles, puisque dès la fin des années 1930, l'architecte Buckminster Fuller inventait le concept d'ephemeralization<sup>1</sup> – le fait que l'on consomme toujours moins de matières premières pour rendre des services équivalents ou meilleurs (comme les ondes radios qui ont remplacé les câbles en cuivre du télégraphe). Plus généralement, on s'accorde à considérer qu'avec le développement des économies, le poids de l'industrie, consommatrice des matières, se réduit par rapport aux services, à l'immatériel et aux connaissances.

Si on constate bien un découplage relatif, un décrochage, entre produit intérieur brut (PIB), consom-

mation d'énergie et émissions de CO<sub>2</sub><sup>2</sup>, c'est un découplage absolu qu'il s'agirait d'obtenir – un PIB qui continue à croître pendant que les émissions baissent. Le même résultat devrait être obtenu sur les ressources métalliques, où à date, aucun découplage, même relatif, n'est visible au niveau mondial<sup>3</sup>. En vingt ans, on a ainsi presque triplé la production d'aluminium, largement plus que doublé celle d'acier et de nickel, augmenté de 50 à 60% celle de cuivre, de plomb, de zinc... et pour les métaux des nouvelles technologies, tirés par les applications numériques, multiplié par quatre celle de tantale, par cinq celle de cobalt, par six celle de lithium...

Certainement, il faut regarder au-delà des chiffres mondiaux : en Europe, les émissions de CO<sub>2</sub> stagnent ou baissent, et la demande mondiale en métaux est aussi tirée par l'industrialisation, l'urbanisation et la motorisation des pays émergents, Chine et Inde en tête. Mais il faut prendre en compte l'effet du solde du commerce extérieur : si nous émettons moins de CO<sub>2</sub> en Europe, c'est aussi parce que nous l'importons sous forme de produits finis et semi-finis<sup>4</sup>. Bilan fait des flux planétaires toujours plus complexes, nos sociétés n'ont jamais été aussi matérielles, consommatrices de

ressources et émettrices de gaz à effet de serre.

Surtout, comment rendre le système économique soutenable sur le moyen et long terme ? Projetons-nous quelques instants dans le temps long. Un taux de croissance de 2% par an – celui du Luxembourg a été de 2,9% en moyenne de 2010 à 2019 – signifie un doublement tous les trente-sept ans, une multiplication par sept en un siècle, et par... quatre cents millions en un millénaire. Comment espérer découpler à ce point, imaginer que chaque euro de PIB luxembourgeois soit, dans mille ans, des milliards de fois plus efficaces en énergie et en ressources ?

Pourtant, sans ce découplage, la croissance tournerait à la farce, ou à la science-fiction : au taux de 2%, il ne faudrait que mille cinq cent cinquante ans pour consommer toute l'énergie de l'étoile – ce qui ferait de notre civilisation une « type II » sur l'échelle de l'astronome soviétique Nikolai Kardachev. Il nous faudrait, trente sept ans plus tard, trouver d'urgence une deuxième étoile. Les ressources métalliques seraient vite limitées par les mêmes contraintes physiques : il ne faudrait que cinq siècles pour extraire l'intégralité du contenu en cuivre de la croûte terrestre jusqu'à la profondeur d'un kilo-

1 Buckminster Fuller, *Nine chains to the moon*, Lippincott, 1938.

2 Entre 2010 et 2019, le PIB mondial a cru en moyenne de 2,8 % par an, la consommation d'énergie primaire de 1,6 % par an et le CO<sub>2</sub> de « seulement » 1,1 % par an.

3 Entre 1999 et 2019, +4,4 %/an pour le fer, +5,0 %/an pour l'aluminium, +2,4 %/an pour le cuivre, +4,1 %/an pour le nickel...

4 Cf. publications du commissariat général au développement durable (CGDD) pour le cas français, par exemple.

# DE LA NÉCESSITÉ D'INVENTER UN MONDE DE « POST-CROISSANCE »

PHILIPPE BIHOUIX

mètre, ou huit à neuf siècles pour consommer l'intégralité du fer contenu dans la ceinture d'astéroïdes.

Evidemment, il ne s'agit que d'une démonstration par l'absurde sur la puissance des exponentielles : la conclusion qui s'impose, physique, pour ne pas dire mathématique, est que la croissance, mondiale ou locale, prendra fin bien avant. Nul besoin d'ailleurs de convoquer les exponentielles pour tomber dans l'absurde : à la vitesse (stable) à laquelle nous artificialisons les sols européens, quelques siècles suffiraient à intégralement artificialiser le territoire<sup>1</sup>.

Quelques siècles, c'est une éternité à l'échelle des politiques publiques. Mais la transition vers un monde soutenable devra conduire à la post-croissance, et au zéro artificialisation « brute » ; le plus tôt sera le mieux car chaque année qui passe entame notre capacité collective de résilience. Il est donc urgent d'expérimenter de nouveaux modes de production et de consommation, de mettre en œuvre toutes les solutions locales possibles, d'exploiter avec discernement les solutions technologiques dans une logique de sobriété – et pas seulement d'efficacité, dont les effets sont souvent annihilés par l'effet rebond –, mais aussi de réfléchir dès à présent à un système économique adapté, à un nouveau « contrat social et environnemental ».

Si « solutions » il y a aux défis environnementaux, celles-ci seront sociotechniques, intégrant les usages, les comportements, les évolutions culturelles, mais elles devront aussi être soutenues par et articulées avec des politiques publiques, des choix réglementaires et fiscaux, permettant une transition socialement juste et enthousiasmante, éthique et démocratique, sur la durée.



<sup>1</sup> Hommage à Trantor, capitale de l'empire galactique dans la trilogie Fondation d'Isaac Asimov (1951).



# L'ARCHITECTURE POST CARBONE

## RAPHAËL MÉNARD

### QUEL FUTUR POST-CARBONE ?

Après deux siècles d'ère thermo-industrielle, nous nous réveillons groggy. Nous constatons que la combustion immodérée des énergies fossiles a fait dérailler le climat. Notre civilisation extractiviste, et son asservissement sans limite des sols et sous-sols, a généré une érosion dramatique de la biodiversité. Ce moment de bascule arrive après une période au cours de laquelle notre accès à l'énergie et à la matière fut quasi illimité,

**L'architecture post-carbone est le tombeau du CO<sub>2</sub> atmosphérique. Elle est l'indulgence, utile et plaisante, des combustions fossiles du passé. En surface, comme dans ses soubassements, cette architecture piège à nouveau le carbone qui était, il y a deux siècles tout au plus, emprisonné dans les énergies fossiles, dans les profondeurs des sous-sols.**

et ce, sans prêter suffisamment attention aux innombrables répercussions sur le vivant et sur le climat. Le Luxembourg et la région fonctionnelle ont été l'un des épicycles européens de cette séquence. Depuis les alertes lancées dans le fracas des Trente Glorieuses, le compte à rebours est lancé pour enrayer cet effondrement. Les années qui viennent sont déterminantes pour parvenir à la neutralité carbone. Les prochains mois sont cruciaux pour sevrer des sociétés shootées aux hydrocarbures et aux ressources non renouvelables. À l'échelle du Luxembourg, la densité d'émissions<sup>1</sup> est de près de 65 tCO<sub>2</sub>e

par hectare et par an, soit une valeur près de vingt fois plus élevée que les capacités de pompage de CO<sub>2</sub> par une forêt durablement gérée.

Comment cet objectif se décline-t-il aux paysages bâtis et aux différentes échelles d'intervention? Quelles architectures permettraient d'inverser le bilan d'édifices massivement émetteurs de gaz à effet de serre depuis plus de deux siècles, réhabilités en des constructions qui, sur la totalité de leur cycle de vie, séquestrent autant de carbone? Comment transformer - voire démanteler - un monde construit par l'économie fossile et gouverné dans la furie thermo-industrielle? Qu'est-ce qui donne les clés pour concevoir une construction positive (« net zero »), au sens où sa « dette carbone » sera nécessairement « remboursée » au cours de sa durée de vie? Quel est le poids et le rôle de l'architecture dans ce défi?

### L'ARCHITECTURE COMME BANQUE DU CARBONE

En exploitation et en construction, les émissions annuelles liées au bâti représentent près de 3,5 millions de tCO<sub>2</sub>e par an<sup>2</sup> sur le périmètre du Grand-Duché. À l'échelle de la région fonctionnelle, il faut mettre en balance d'un côté les près de 400 000 hectares de surfaces forestières, comparées au 100 000 hectares du « terri-

toire de l'architecture<sup>3</sup> ». Si l'on traduit l'objectif de neutralité carbone dans un horizon court, et si l'on considère que les forêts bien gérées sont l'essentiel de la solution, l'architecture est alors le réceptacle privilégié du torrent de matières ligneuses qu'il sera nécessaire de stocker aussi longtemps que possible afin de garantir la neutralité. L'architecture post-carbone est le tombeau du CO<sub>2</sub> atmosphérique. Elle est l'indulgence, utile et plaisante, des combustions fossiles du passé. En surface, comme dans ses soubassements, cette architecture piège à nouveau le carbone qui était, il y a deux siècles tout au plus, emprisonné dans les énergies fossiles, dans les profondeurs des sous-sols. La transformation du paysage bâti de la région fonctionnelle se composera ainsi. L'architecture de demain sera forcément plus « végétarienne »; elle utilisera prioritairement les matériaux biosourcés locaux, le bois notamment, matières renouvelables par essence, et la mise en valeur des 200 000 hectares de feuillus de la région fonctionnelle. Elle sera édifée en circuits courts, avec des chaînes logistiques ne dépassant guère les dimensions régionales.

**L'architecture de demain sera forcément plus « végétarienne »; elle utilisera prioritairement les matériaux biosourcés locaux, le bois notamment, matières renouvelables par essence, et la mise en valeur des 200 000 hectares de feuillus de la région fonctionnelle.**

1 Sur l'empreinte carbone totale.

2 Pour le bâti, il avait estimé en phase 1 une empreinte de l'énergie des logements de 1.97 MtCO<sub>2</sub>e/an, et de la construction en général de 1.49 MtCO<sub>2</sub>e/an.

3 En intégrant également les infrastructures.

# L'ARCHITECTURE POST-CARBONE

## RAPHAËL MÉNARD

### ARCHITECTURES DE LA RÉSILIENCE

Depuis à peine dix générations, la libération à grande échelle du carbone, piégé depuis la nuit des temps dans nos sols, ce changement d'état à très grande échelle, a engendré une évolution critique de la composition gazeuse de notre atmosphère. De manière synthétique, le chaînage est le suivant : nos consommations d'énergie du passé ont induit une modification de la composition de l'atmosphère, modifiant à son tour le bilan thermique de la Terre, forçant ensuite une élévation de température. L'architecture post-carbone s'insère dans cette chaîne et doit maintenant résister aux conséquences du réchauffement climatique, et à l'ensemble des futurs incertains que cette modification sans précédent engendre. De fait, à une échéance extrêmement courte, l'architecture sera soumise à une multitude de chocs : augmentation de la fréquence des événements climatiques extrêmes, inondations et risques naturels accrus, modification de la faune et de la flore, migrations humaines et modifications rapides des besoins et des usages... Cette nécessité pose des questions prégnantes sur le rapport au patrimoine, comme par exemple la colorimétrie des toitures historiques de Luxembourg-ville pour un meilleur contrôle de l'effet d'îlot de chaleur urbain, voire une stratégie globale de l'albédo des surfaces artificielles, selon le mode d'occupation des sols de la région fonctionnelle.

### L'OBSOLESCENCE DE L'ARCHITECTURE

Cette ère post-carbone questionne l'essence même de l'architecture : la permanence dans le temps de l'objet construit et son obsolescence. Selon l'exemple de la construction japonaise traditionnelle, doit-on demain construire (ou transformer les existants) de façon légère, pour une durée de temps brève, pour ensuite à nouveau construire, de façon adaptée au climat et aux crises qui se seront révélées ? Ce sera alors une architecture adaptative, incertaine du lendemain. Les investissements écologiques (matériaux, énergies, émissions de CO<sub>2</sub> etc.) dédiés à l'édification (ou à la transformation) seraient congrus et les temps de vie attendus, limités, comme pour des surélévations en biosourcé dans les tissus en tension de la région fonctionnelle. Une autre démarche, plus classique, consisterait au contraire à bâtir une architecture

robuste, solide, apte à résister à des événements imprévus, à des phénomènes météorologiques probablement plus violents. Cette stratégie réclamera assurément un surdimensionnement de la construction, en anticipant des sécurités sur les efforts de dimensionnement au vent, en protégeant davantage les constructions vis-à-vis des inondations ou des submersions potentielles... Face à ces lendemains très incertains, à la rupture historique de la permanence des climats, aux modifications impromptues des crises à venir, l'architecture post-carbone touche-là le domaine des probabilités. Elle convoque une dimension assurantielle dans la façon de conduire la conception, avec subtilité et contextualité.

### LE PIC DE L'ARCHITECTURE

Ce nouveau paradigme place la conception « sous contraintes », elle sonne l'arrêt des choix de partis gratuits, et parfois indécents. Sans même cet ébranlement systémique, l'architecture serait malgré tout confrontée à un autre séisme. Depuis Vitruve, l'architecture a été une discipline de la croissance, alliée du développement économique et de l'extension du territoire des hommes. Depuis des siècles, la dynamique de la discipline s'intéresse principalement aux flux des édifices nouveaux, ces derniers venant s'ajouter à un stock déjà bâti. Nous atteindrons prochainement le pic de ce stock construit, le maximum du « clos et couvert mondial », du fait notamment de la transition démographique planétaire. Ce cap, cette limite est une révolution, et il se décline évidemment à l'échelle de la région



# L'ARCHITECTURE POST-CARBONE

## RAPHAËL MÉNARD



fonctionnelle. Elle est le pendant architectural d'un monde post-croissance. Alors, par la force des choses, la discipline mutera et elle s'intéressera alors essentiellement à l'existant et à la déconstruction savante. L'architecture sera simple, facilement réparable et transformable par ses usagers pour s'adapter aux secousses et aux transformations de ce siècle. L'architecture sera aussi la capsule de repli, l'abri confortable et résilient, doté de systèmes techniques simples, parfois redondants afin de garantir son autonomie de fonctionnement, y compris dans une situation dégradée<sup>1</sup>. Cette architecture n'est pas un retour au vernaculaire, mais elle est avant toute chose l'art de reconfigurer les existants, telle la station de service de Pommerloch, comme l'art de déconstruire savamment l'inutile et l'indécent. Cette architecture-là est une refondation de la discipline.

<sup>1</sup> Denis Meadows rappelait lors d'une conférence en novembre 2011 les multiples systèmes de production de chaleur qu'il avait installés dans sa maison.

# LE SOL, DU MODE D'OCCUPATION À UNE STRATEGIE D'INTENSIFICATION DES RESSOURCES

**Le sol est la matière première de la décarbonation. le projet de Paysage capital[e] se traduit ainsi par l'élaboration d'une stratégie à partir de chaque mètre carré de la région fonctionnelle. Il s'agit de le protéger, de l'enrichir, et de le reconnecter aux dynamiques locales, mitoyennes, voisines, pour révéler son pouvoir au sein du métabolisme du territoire.**

## USAGE DES SOLS, VERS UN EQUILIBRE

La moitié de la superficie de la région fonctionnelle accueille aujourd'hui des surfaces agricoles, tandis qu'un tiers de sa surface est recouvert de forêts et de bois. Il s'agit maintenant de regarder l'usage de chaque mètre carré, soit pour intensifier son rôle dans la décarbonation, soit pour enrichir sa capacité à participer à la résilience globale de la région fonctionnelle : aujourd'hui la logique veut qu'on identifie un usage pour chaque superficie de sol. Demain, il faudra raisonner avec la logique des co-bénéfices, en changeant l'usage d'un territoire : en transformant par exemple une partie des surfaces agricoles en agroforesterie, ou bien en produisant de l'énergie sur des parcelles agricoles, ou sur toutes les surfaces bâties existantes. Chaque mètre carré disponible, qu'il soit construit ou non, doit répondre aux besoins locaux et spécifiques des territoires et s'inscrire dans une logique de réduction de leurs empreintes géo-écologiques.

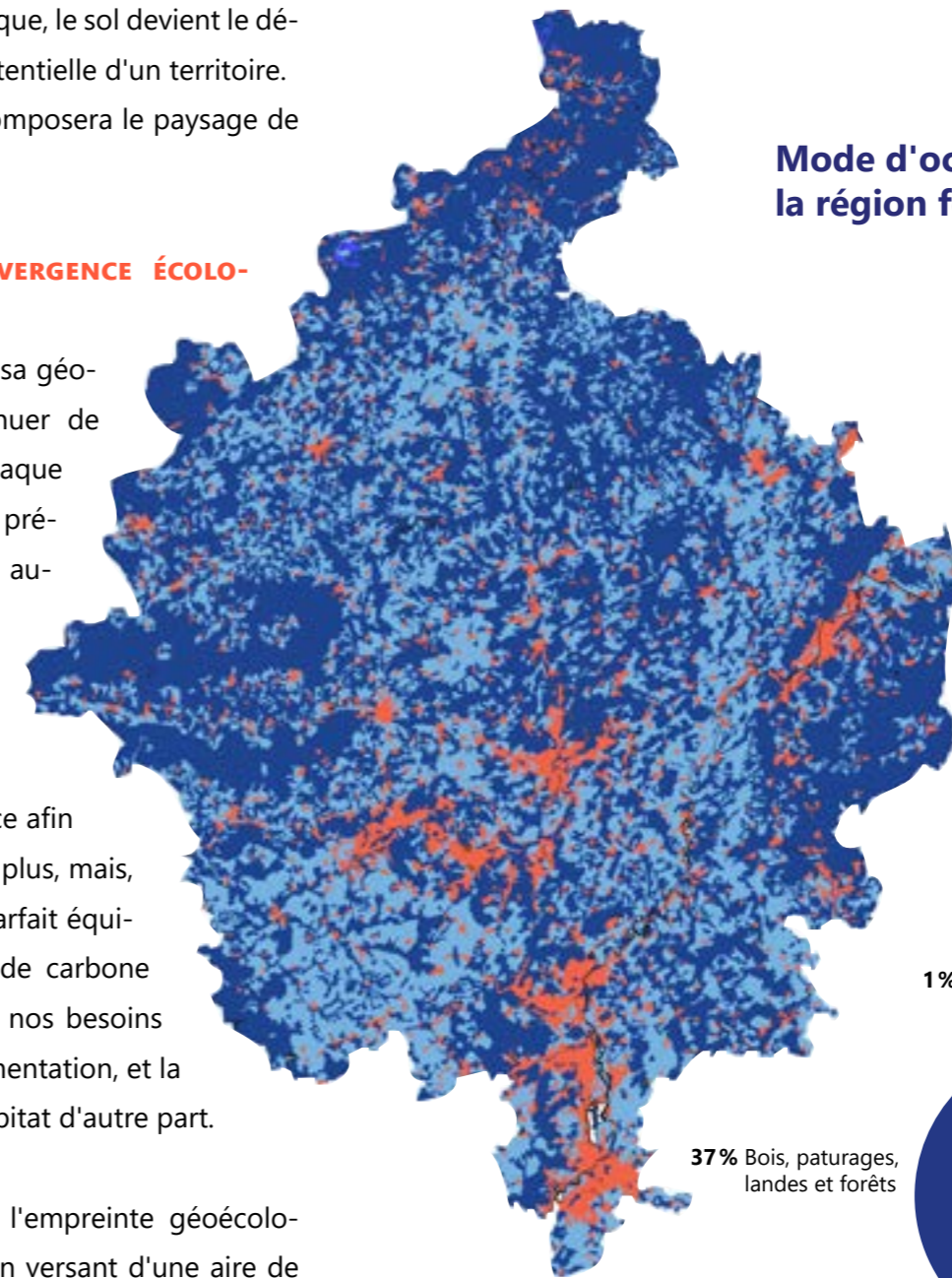
En considérant le sol au cœur de la démarche de décarbonation, nous lui affectons une nouvelle valeur.

Au delà de sa valeur économique, le sol devient le dénominateur de la richesse potentielle d'un territoire. L'usage qui lui sera donné composera le paysage de demain.

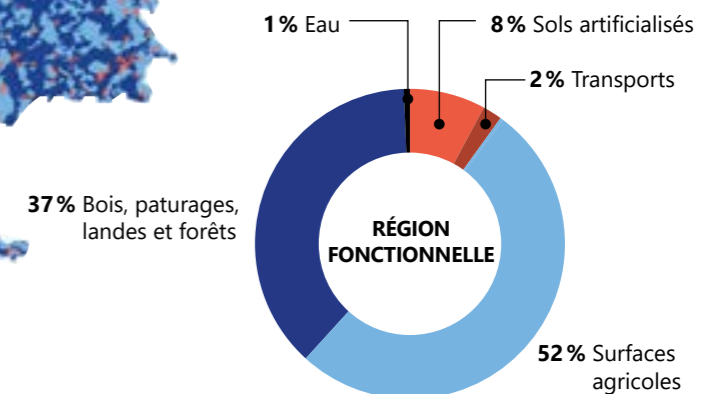
## BASSIN VERSANT ET CONVERGENCE ÉCOLOGIQUE

La topographie du territoire, sa géomorphologie, doivent continuer de guider l'urbanisation de chaque mètre carré. Ou plutôt la préservation des mètres carrés aujourd'hui non bâtis. La disponibilité apparente des sols du territoire d'étude ne doit pas être une opportunité pour consommer cette surface afin de produire ou de construire plus, mais, au contraire, de traduire le parfait équilibre entre la séquestration de carbone d'une part, la production de nos besoins en matière d'énergie et d'alimentation, et la nécessité de produire de l'habitat d'autre part.

Cet équilibre se traduit par l'empreinte géoécologique des territoires, le bassin versant d'une aire de vie, ou bassin servant. Cette empreinte ne doit pas entrer en concurrence avec celle des territoires mitoyens et doit également aider à la décarbonation des espaces voisins.



Mode d'occupation des sols de la région fonctionnelle



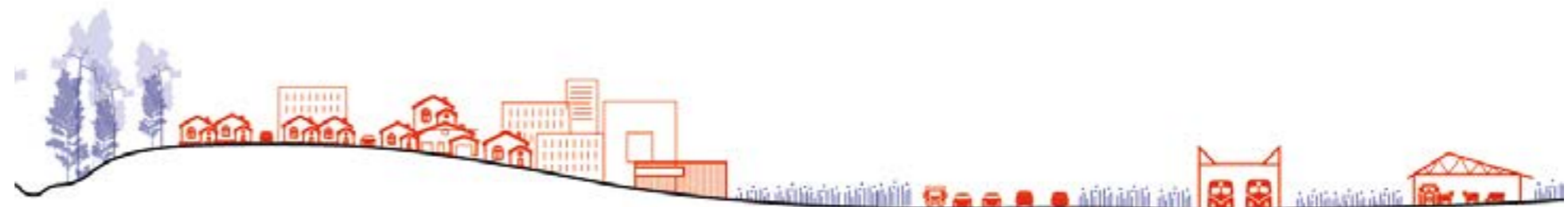
# UNE RELATION VILLE-CAMPAGNE EXCEPTIONNELLE : UNE OPPORTUNITÉ UNIQUE POUR LA TRANSITION

## Un paradoxe du territoire

Nous parlons de paradoxe du territoire car bien que les relations spatiales et visuelles soient puissantes, dans les faits il existe peu de relations entre l'économie du territoire et sa géographie. Les produits issus du monde agricole sont en grande majorité exportés quand la consommation de produits alimentaires au Luxembourg est fortement dépendante des importations. Il en est de même avec les espaces forestiers dont la production se trouve évacuée du territoire, exportée pour être transformée.

## Une opportunité de transition

Nous trouvons dans cette juxtaposition géographique une réelle force pour le futur de ce territoire en y voyant une opportunité pour faciliter la transition vers plus d'échanges et d'interactions entre résidents, consommateurs, producteurs... entre les milieux et leurs écosystèmes. La transition visera à intensifier et amplifier cette juxtaposition en développant un paysage de co-présence



## UN URBANISME EN LANIÈRES, UNE INTENSIFICATION DES TERRITOIRES À RENFORCER

### Un paysage et un urbanisme en lanières :

Le paysage luxembourgeois se lit comme un paysage en lanières. Un paysage richement plissé, parcouru de vallées marquées. L'urbanisation du territoire s'est développée sur cette géographie de manière linéaire, le long des routes et des vallées, et on observe une grande concomitance entre les différents milieux : vallées humides, espaces forestiers, espaces agricoles, noyaux urbains.

Au cœur des villes et villages, la présence des espaces agricoles, des espaces forestiers qui les bordent est très présente visuellement.



---

# 1. Notre vision

pour la région fonctionnelle  
luxembourgeoise

## 1.1. QUEL "ATTERRISSAGE" POUR LA RÉGION FONCTIONNELLE EN 2050?





# Les ingrédients d'un urbanisme post-carbone

**Atteindre les objectifs de décarbonation en 2050 suppose une certaine forme de radicalité dans la spatialisation des propositions d'intervention sur le territoire. Nous posons ici les concepts socles de la démarche d'un nouvel urbanisme, militant et engagé pour un futur post-carbone.**

Pour proposer une stratégie spatialisée qui répond en priorité aux besoins du territoire, tout en maintenant l'équilibre du métabolisme (émissions/séquestration), cela implique d'engager un urbanisme post carbone qui d'une part sanctuarise une partie des terres non bâties, et d'autre part, veille à la bonne affectation de l'usage des sols.

## **ZERO ARTIFICIALISATION BRUTE**

Nous l'avons vu, le sol est précieux et doit tenir son rôle déterminant dans l'équilibre émissions/séquestration. La zéro artificialisation brute doit être effective dès 2022. Les surfaces artificialisées en 2022 correspondent aux surfaces artificialisées en 2050. Cela induit l'intensification des espaces déjà artificialisés et nous engage dans une architecture de l'addition ou de la soustraction. Cette sobriété systémique dessine un paysage maîtrisé, et amplifié. Au delà de la question de la densité, l'objectif est de lutter contre les formes émietées de l'urbanisation, afin d'organiser un territoire polycentrique, équipé et équilibré.

## **LES LIMITES, LES SEUILS : LES FRONTS PRODUCTIFS**

Afin de lutter contre l'étalement urbain, et en complément de la Zero Artificialisation brute, il faut établir des limites, identifier les seuils des territoires. L'urbanisation en lanières provoquée par la topographie du territoire est une opportunité pour identifier ces fronts à sanctuariser.

Ces fameux "front urbains" apparus dans les schémas directeurs régionaux ou les schémas de cohérence territoriale ne doivent pas uniquement constituer des limites sur des plans masse, mais faire l'objet d'un usage spécifique. Véritables enceintes productives, ces territoires de seuils viennent renforcer la proximité entre la ville et la campagne et accueillent des fonctions "utiles" pour la décarbonation, espaces servants de nos territoires habités (lieux de stockage, de transformation, de production, de séquestration...).

## **LES FRICHES, LES INTERSTICES**

Entre les espaces urbanisés, certains territoires déjà obsolètes ou abandonnés, traduisent d'un urbanisme boudé. Ces interstices constituent demain les fonciers "Priorité climat" que nous avons évoqués dans la phase précédente. L'usage de ces parcelles doit être étudié avec beaucoup de précaution. Ces fonciers sont stratégiques et doivent répondre aux besoins prioritaires de la décarbonation.

De par la topographie de la région fonctionnelle, constituée de vallées relativement marquées, certains interstices guidés par le relief accueillent aujourd'hui

des grands corridors de biodiversité, qu'ils soient dans les cœurs urbains denses ou dans les zones plus rurales. En témoignent les sites que nous avons étudiés plus loin comme Luxembourg Ville ou Elange. Ces corridors sont des opportunités exceptionnelles dans l'armature de l'urbanisme post-carbone. Véritables colonnes vertébrales des territoires, ils créent des liens forts, des coutures entre les franges et le cœur des territoires habités, et constituent une part importante du projet de Paysage capital[e] en 2050.

## **LA RÉINVENTION DES MODÈLES/ARCHÉTYPES**

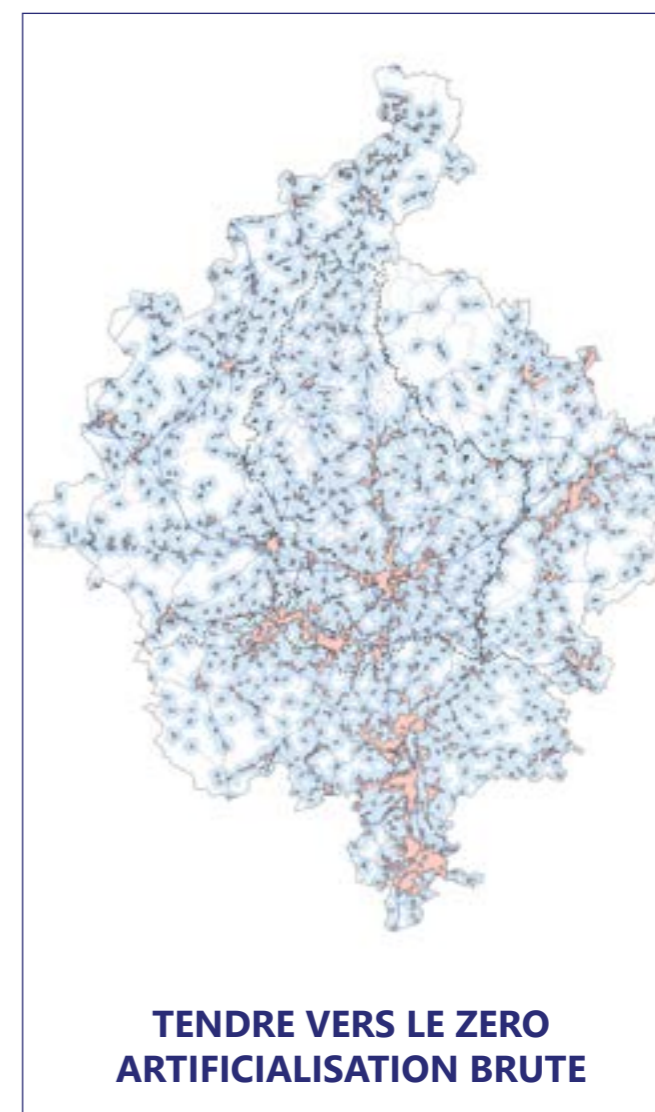
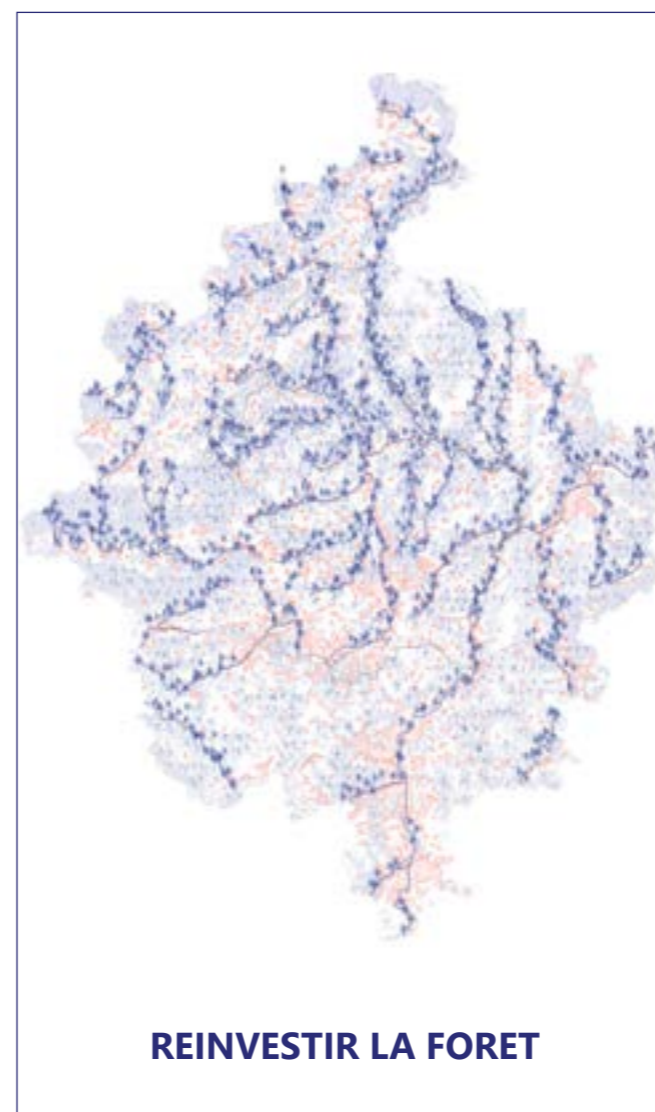
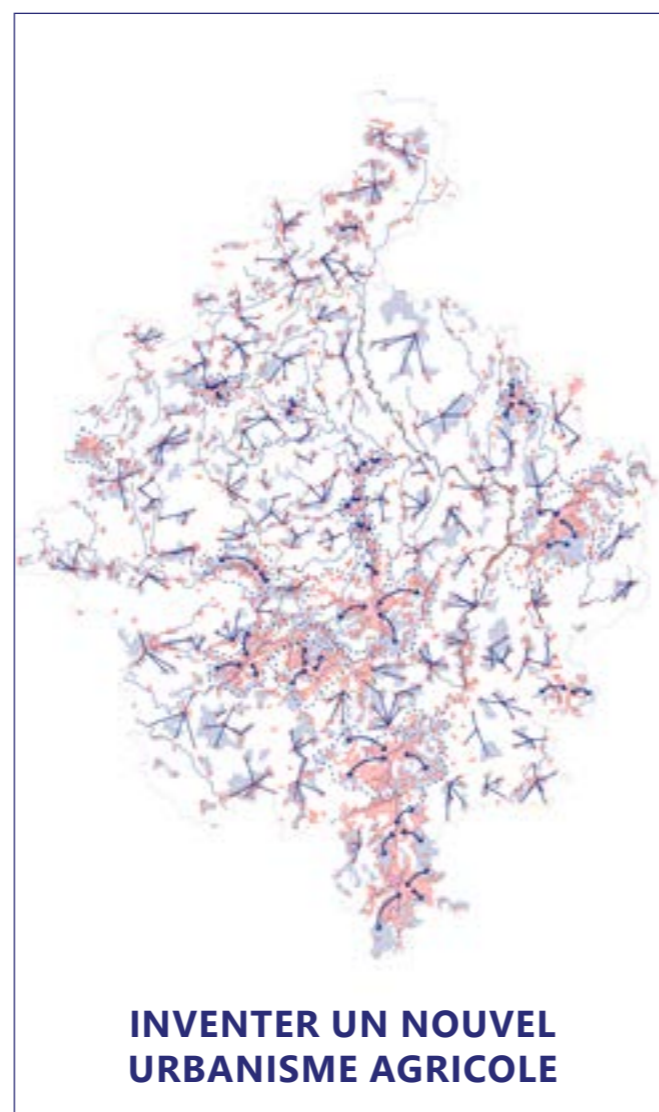
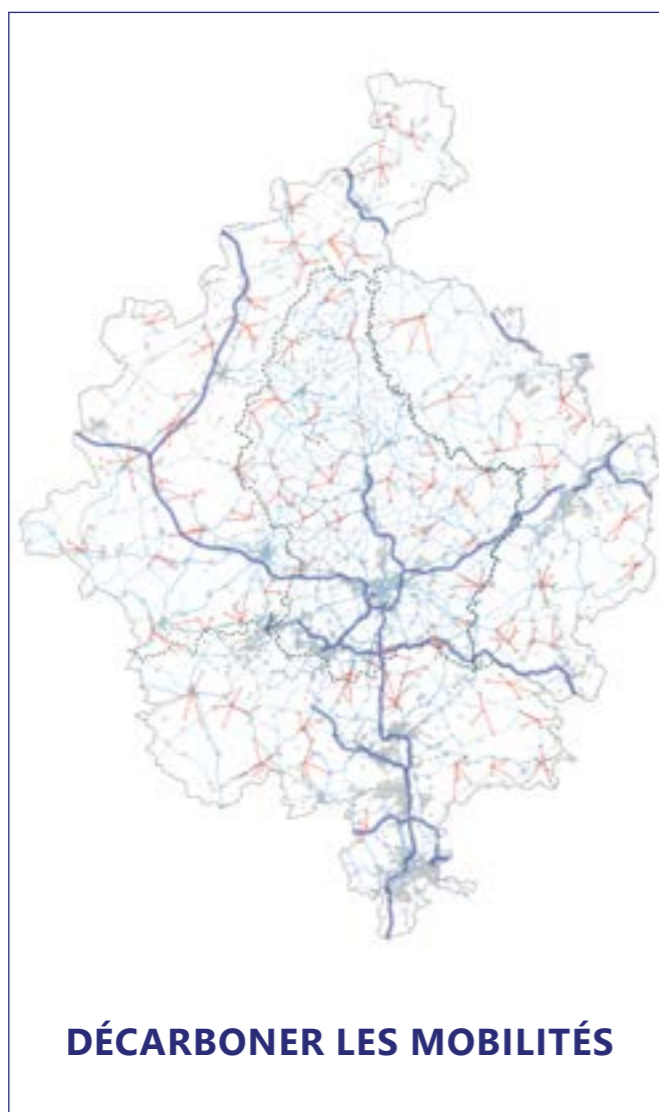
Et si les futurs hauts lieux de la décarbonation étaient les territoires dénoncés de l'urbanisme précédent ? Les centres commerciaux, les stations services, les zones périurbaines, sont pour nous les futurs acteurs de la décarbonation. Ils constituent le terreau de l'urbanisme post-carbone. Décrits depuis de nombreuses années, nous ne souhaitons pas leur faire un procès, mais au contraire profiter des opportunités de transformations qu'ils permettent, de la plasticité qu'ils proposent pour en faire les relais productifs et efficaces des bassins versants des métropoles décentrifugées. Ce sont ces sites de projet spécifiques que nous avons décidé d'étudier dans les chapitres suivants.



**PRIORITÉ  
CLIMAT**

## Stratégie région fonctionnelle

---



## 1.2. DÉCARBONER LES MOBILITÉS



Parking de centre commercial, Elange

# Décarboner les mobilités

## UN TERRITOIRE STRUCTURÉ PAR L'ABONDANCE DES ÉNERGIES FOSSILES

La région fonctionnelle Luxembourgeoise a été, comme la plupart des régions industrialisées, façonnée au XIX et XXème siècle par une énergie abondante, facile d'accès et peu coûteuse. Couplée au dynamisme économique du Luxembourg, cette disponibilité de l'énergie, et en particulier du pétrole, a accéléré les dynamiques d'étalement urbain, et rendu possible la spécialisation actuelle du territoire, avec ses mobilités pendulaires transfrontalières fortement consommatrices d'énergie – au point de le rendre structurellement dépendant de l'automobile pour son fonctionnement quotidien. Face à la perspective d'une descente énergétique choisie - dans le cadre de mesures de lutte contre le réchauffement climatique - ou subie - dans le cas d'un dépassement du pic pétrolier annoncé comme proche - cette sujétion du territoire aux mobilités longue distance hautement carbonées constitue aujourd'hui un facteur de fragilité important pour la région fonctionnelle luxembourgeoise, et un véritable défi pour toute politique de transition des mobilités.

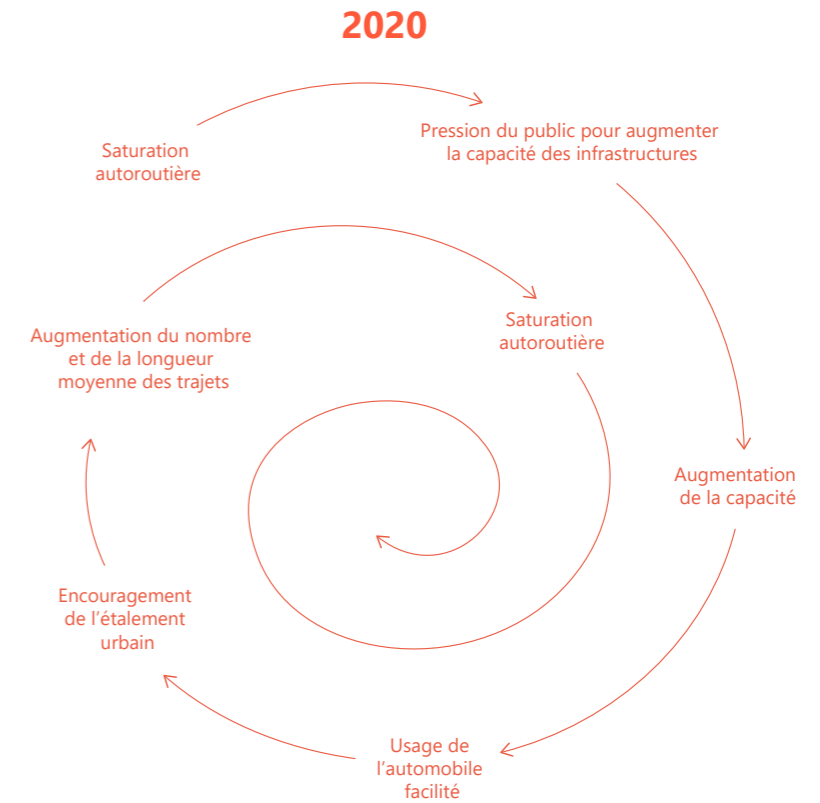
Aborder la question de la décarbonation des mobilités à l'échelle de la région fonctionnelle nous impose donc de réinterroger la place de l'automobile dans l'écosystème de mobilités, et de questionner plus largement les modes d'aménagement du territoire issus du mouvement moderne. Là encore la tâche ne sera pas aisée,

tant la fonctionnalisation du territoire et le primat donné à l'automobile ont contribué à rendre cette dernière indispensable aux individus pour assurer la plupart de leurs besoins quotidiens.

## SORTIR DU CERCLE VICIEUX DE L'ÉTALEMENT URBAIN

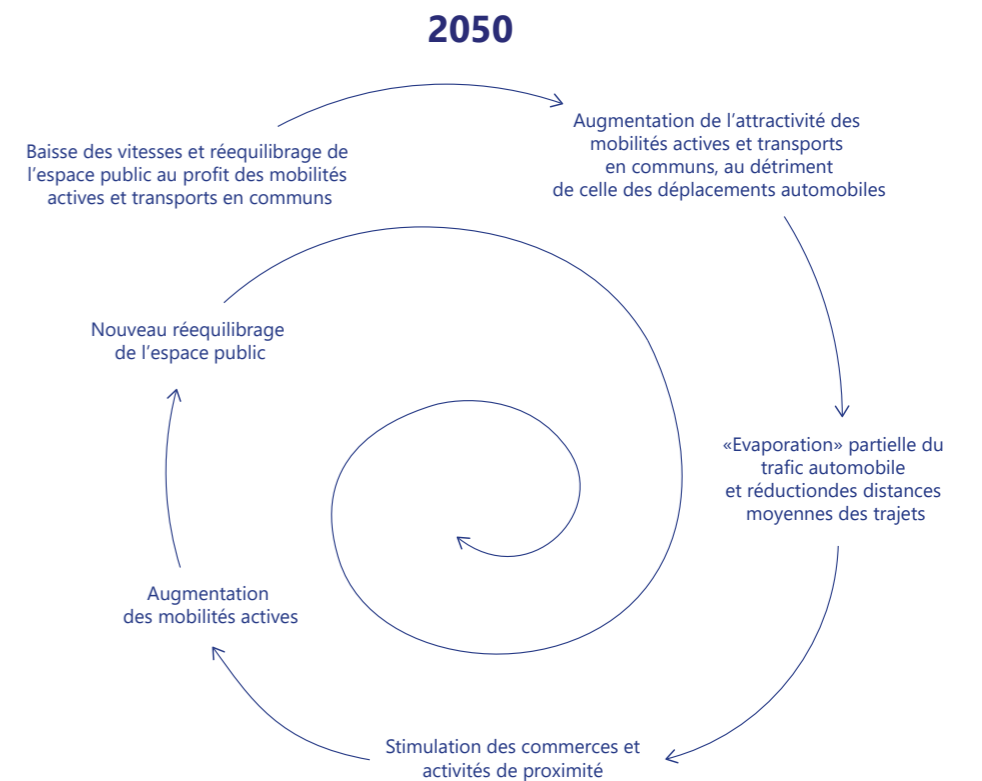
Pour sortir du cercle vicieux de l'étalement urbain (un territoire de plus en plus étalé rendant l'automobile de plus en plus indispensable au point de saturer les infrastructures existantes, appelant à construire de nouvelles infrastructures, qui à leur tour contribuent à accentuer l'étalement urbain, etc.), un pas de côté est nécessaire, afin de tenter d'initier un « cercle vertueux » de retour à l'échelle locale (relocalisation de la vie quotidienne à laquelle aspirent d'ailleurs les individus, comme en témoignent de nombreuses enquêtes sur le sujet).

Ce pas de côté consiste à tenter d'inverser le sens de la spirale infernale, en contraignant la place donnée à l'automobile pour mieux ouvrir des espaces de possibles aux modes décarbonés (marche, vélo, transport en commun) ainsi qu'à la démobilité (en tirant partie des espaces libérés par la déprise de l'automobile pour amener commerces, services et aménités les plus diverses au plus près des individus), de manière à progressivement faire diminuer la demande de mobilité au profit d'un recentrement des aires de vie.



### Le cercle vicieux de l'étalement urbain, ou «Théorie du trou noir des investissements autoroutiers»

D'après Plane, D. A. (1995). Urban transportation: policy alternatives. In Hanson & Giuliano (Eds.) The geography of urban transportation. (2nd ed.) New York; London: Guilford Press.



### Vers un «cercle vertueux» de retour à la proximité

# Décarboner les mobilités

## TRANSFORMER L’AFFORDANCE DU TERRITOIRE POUR RÉDUIRE SA DÉPENDANCE À L’AUTOMOBILE

Pour mener à bien ce changement de paradigme, nous proposons de transformer l’affordance du territoire, c’est-à-dire de réorienter sa propension à susciter certains usages plutôt que d’autres – affordance bénéficiant aujourd’hui largement à l’automobile - de manière à faciliter les modes de vie décarbonés tout en contraignant les usages les plus carbonés.

Cette approche suppose de repenser en profondeur l’aménagement du territoire, en transformant les « règles du jeu » de ses infrastructures afin de faire évoluer les choix des acteurs au sein de l’écosystème éminemment complexe que constitue le système territoire-infrastructures-mobilités-usagers.

Il s’agit ainsi moins de créer de nouvelles infrastructures que de réaffecter les infrastructures existantes à d’autres usages. Cette stratégie présente de nombreux atouts dans le cadre de la crise écologique actuelle :

- **Elle induit une substitution des modes de transports par la substitution des capacités qui leur sont allouées**, plutôt qu’une accumulation des infrastructures, qui n’aurait pas d’effet déterminant sur les déplacements existants (et ne permettrait donc pas de baisser les émissions de GES existantes, mais seulement de ralentir leur croissance) ;
- **Elle permet d’agir à court terme** là où la création

de nouvelles infrastructures peut prendre jusqu’à plusieurs dizaines d’années pour les plus complexes à mettre en œuvre (réseau ferroviaire, canal logistique...). Parfois, quelques traits de peinture et plots en plastique savamment placés peuvent suffire à amorcer un basculement des usages, comme l’a montré la stratégie des « coronapistes », ces pistes cyclables temporaires mises en œuvre lors de la crise du Covid, qui ont par exemple permis de multiplier par deux les déplacements à vélo en un an à Paris ;

- **Elle minimise les impacts sur la biodiversité** liés à la création de nouvelles infrastructures, génératrices d’artificialisation des sols et de fractionnement des écosystèmes ;
- **Elle contribue à revitaliser l’échelle de la proximité**, en réduisant la pollution locale (bruit, trafic, pollution de l’air, coupures urbaines...), permettant d’enclencher là encore un cercle vertueux de baisse de la demande de transport au profit d’une régénération de l’échelle locale.
- **Enfin, la transition des mobilités carbonées vers les mobilités décarbonées est généralement synonyme de gains d’espace**, car ces dernières sont beaucoup moins consommatrices de m<sup>2</sup> par usager déplacé. On estime par exemple la capacité horaire d’une piste cyclable à 9500 personnes, là où une route urbaine sera limitée à 1200 personnes par heure, au taux de remplissage actuel des véhicules

(MDDI, 2018). A surface d’infrastructure constante, la transition permet ainsi de désaturer les axes de transports et/ou de réaffecter les espaces libérés à d’autres usages (services de proximité en ville permettant d’accélérer le cercle vertueux de réduction de la demande de transport, désimperméabilisation des sols, production d’énergies renouvelables, etc).

## 5 PRINCIPES POUR TRANSFORMER L’AFFORDANCE DE LA RÉGION FONCTIONNELLE, DE L’ÉCHELLE LOCALE À L’ÉCHELLE TRANSFRONTALIÈRE

**Afin de réorienter l’affordance du territoire, nous proposons les 5 axes stratégiques suivants**, que nous déclinerons dans le projet f(lux) aussi bien à l’échelle de la région fonctionnelle que de nos quatre sites d’études :

- Réduire les vitesses ;
- Stimuler la vie de proximité pour réduire le besoin de déplacements de longue portée (stratégie dite de la « ville du quart d’heure ») ;
- Rééquilibrer le partage de l’espace public au profit de la vie locale et des mobilités décarbonées ;
- Redonner - littéralement - la priorité aux modes actifs à toutes les intersections ;
- S’appuyer sur une refonte de l’offre de stationnement pour accélérer la transition.

**La réduction des vitesses** constitue l’un des piliers de cette stratégie. En effet, la très forte corrélation entre

## Décarboner les mobilités

vitesse moyenne des déplacements, demande de transport et émissions de CO2 a été établie<sup>1</sup>, et constitue sans doute la variable la plus structurante des dynamiques d'étalement urbain. Outre une réduction des émissions directes liée à une baisse des vitesses des véhicules (jusqu'à une certaine limite liée aux motorisations des véhicules), cette stratégie permet à moyen terme de réduire la demande de transport en provoquant une désinduction de trafic, et de dégager des espaces au profit d'autres modes (la consommation d'espace pour la mobilité automobile étant croissante avec la vitesse). Enfin, elle conduit à améliorer l'avantage compétitif des modes actifs vis-à-vis des modes motorisés, tout en rendant les villes plus accueillantes à leur pratique.

Comme évoqué plus haut, **la stimulation de la vie de proximité**, en amenant commerces, services et aménités au plus près des individus, constitue un second pilier majeur pour **remplacer des trajets longs effectués en voiture par des trajets courts facilement réalisables à pied ou à vélo**.

Dans les zones de forte densité, où la rareté du foncier peut conduire à éloigner certains services, **le rééquilibrage du partage de l'espace public au profit des mobilités carbonées** peut faciliter la réaffectation de

voiries à d'autres usages (sport de proximité, commerces, nature en ville...). Dans les zones rurales ou périurbaines, **le retour de services itinérants** (commerces, guichets administratifs, activités culturelles, etc.) peut également palier à la faible densité.

Cette stratégie suppose, sur l'ensemble du territoire, de **redonner physiquement la priorité aux modes décarbonés**, dont la malédiction des « trois D » - Détours, Dénivelés et Délais, comme théorisé par Frédéric Heran - freine encore le développement. Un investissement massif est ici nécessaire, afin de créer les infrastructures cyclables et piétonnes nécessaires à la transition, et de redonner la priorité aux modes actifs à toutes les intersections.

**Enfin la politique de stationnement constitue un levier déterminant pour favoriser le report modal vers des modes décarbonés** : en contraignant partout le stationnement automobile et en démultipliant les offres de stationnement vélo, on accélérera la bascule des mobilités. Dans les zones commerciales, la mutualisation des espaces de stationnement, souvent surdimensionnés, peut être un premier pas. Dans les zones denses, la reconversion de places de stationnement sur voirie en terrasses, stationnement vélo ou aménités urbaines permet de faire coup double, en dissuadant

l'usage de l'automobile tout en revitalisant l'échelle locale – les « parklets » en sont un bon exemple. Enfin, dans les zones périurbaines, la mutualisation et la mise à distance des espaces de stationnement à quelques centaines de mètres du domicile peut aider à réduire le « réflexe voiture » pour les trajets courts, et libérer les rues au profit des mobilités actives.

### NOTRE VISION POUR LA RÉGION FONCTIONNELLE À HORIZON 2050

**A l'échelle de la région fonctionnelle, la mise en œuvre de cette stratégie se traduit par un plan ambitieux de transformation de l'ensemble du réseau autoroutier.** Là encore, la baisse des vitesses constitue un prérequis pour enrayer la dynamique d'étalement des bassins de vie actuellement à l'œuvre, et amorcer la baisse des émissions de gaz à effet de serre des mobilités dès 2022. Contraignante pour les usagers, cette disposition présente toutefois l'intérêt d'optimiser la capacité des infrastructures (optimale autour de 70km/h), et donc de fluidifier le trafic à court terme. Elle permettra aussi à plus long terme de réduire la largeur des voies afin de libérer une chaussée pour d'autres usages (mobilités actives, production d'énergies renouvelables, désimperméabilisation des sols ou encore reconnexion des trames vertes).

<sup>1</sup> Bigo, A., 2020 : Les transports face au défi de la transition énergétique. Explorations entre passé et avenir, technologie et sobriété, accélération et ralentissement.

## Décarboner les mobilités

---

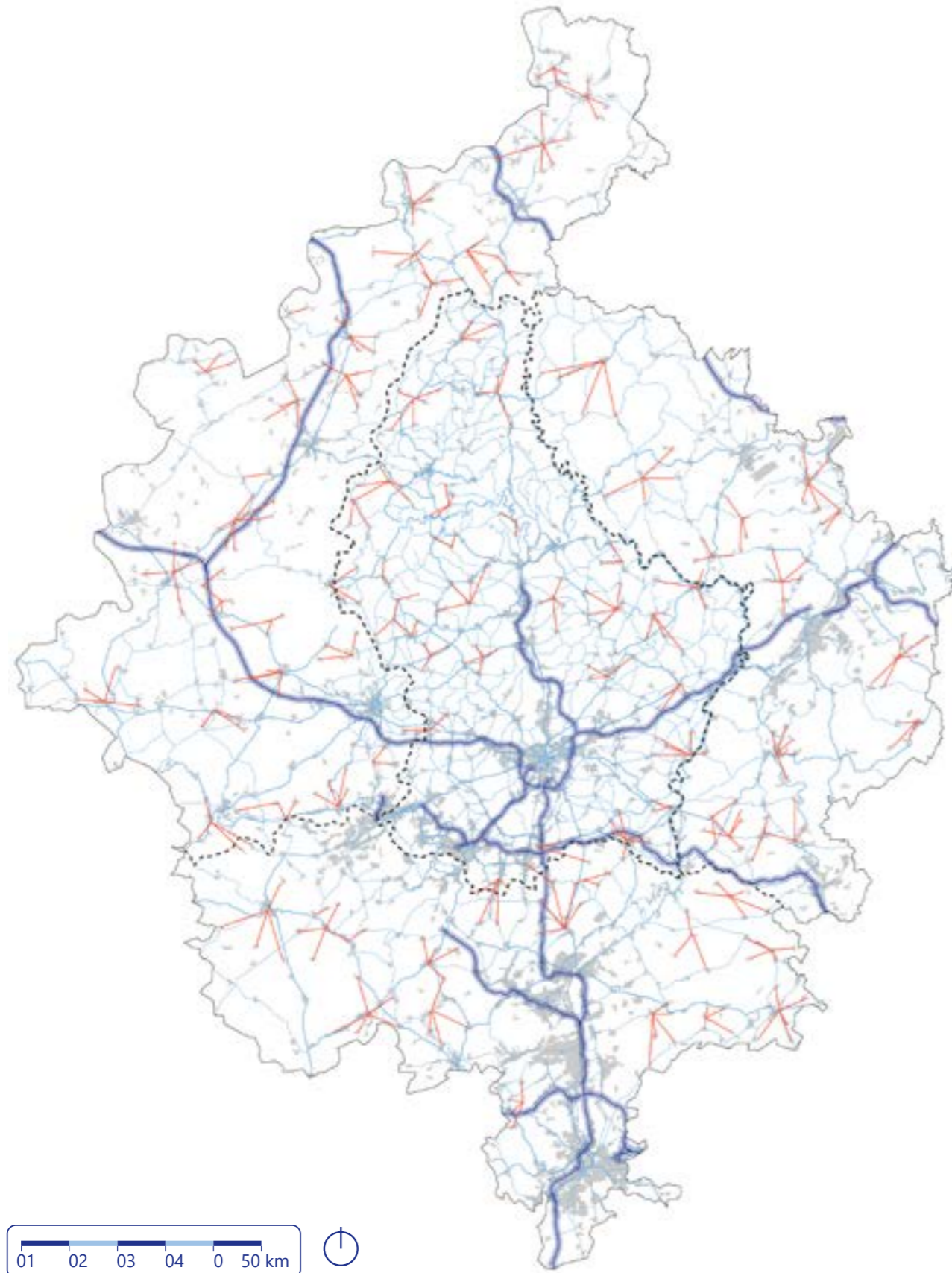
La baisse temporaire de trafic induite par la crise du Covid, ainsi que la démocratisation du télétravail, nous semblent constituer une opportunité historique à saisir pour amorcer cette transition, en ayant provisoirement réintroduit « du jeu » dans le système de mobilités de la région fonctionnelle.

**Sur l'ensemble du territoire, le réseau secondaire doit également évoluer pour faire place aux mobilités actives et faciliter l'essor du vélo.** La région fonctionnelle accuse sur ce point un retard important vis-à-vis des régions les plus avancées en la matière, telles que le Danemark ou les Pays-Bas. Elle doit pouvoir s'en inspirer pour permettre l'usage du vélo et des micromobilités électriques partout et en toutes circonstances.

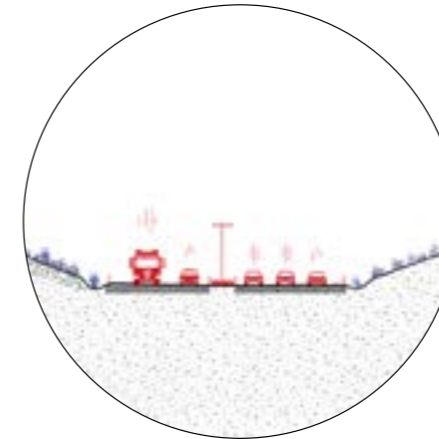
**Enfin, couplées aux actions locales décrites plus haut, ces mesures faciliteront la revitalisation de l'échelle de la proximité,** offrant aux individus la possibilité de répondre à la plupart de leurs besoins au plus près de leur lieu de vie – réservant la mobilité longue distance à un usage plus occasionnel, pouvant plus facilement être couvert par les transports en commun.



# Vision mobilités 2050



Transformation du réseau autoroutier en réseau dédié aux mobilités bas carbone et à la production d'énergies renouvelables

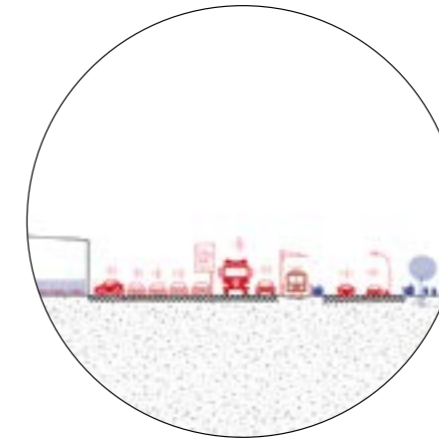


2021



2050

Réaffectation de 50% des surfaces de voiries et maillage cyclable de l'ensemble de la région fonctionnelle luxembourgeoise



2021



2050

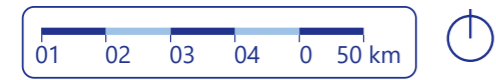
Revitalisation des bassins de vie à l'échelle des aires de mobilités actives



2021



2050



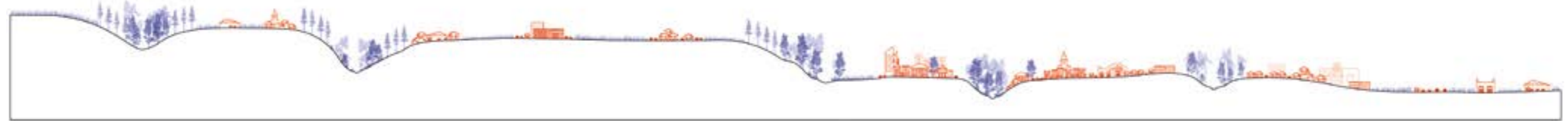


### 1.3. VERS UN NOUVEL URBANISME AGRICOLE

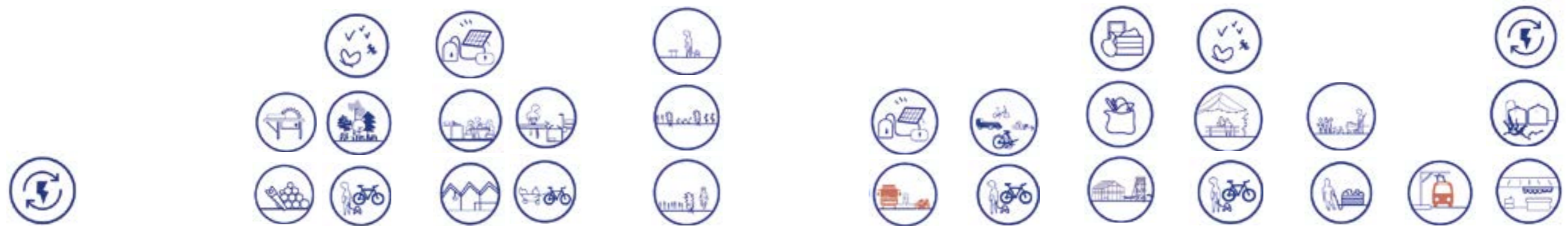


Paysage de vallée, environs de Pommerloch

# D'un système de voisinages qui s'ignorent à un paysage collaboratif

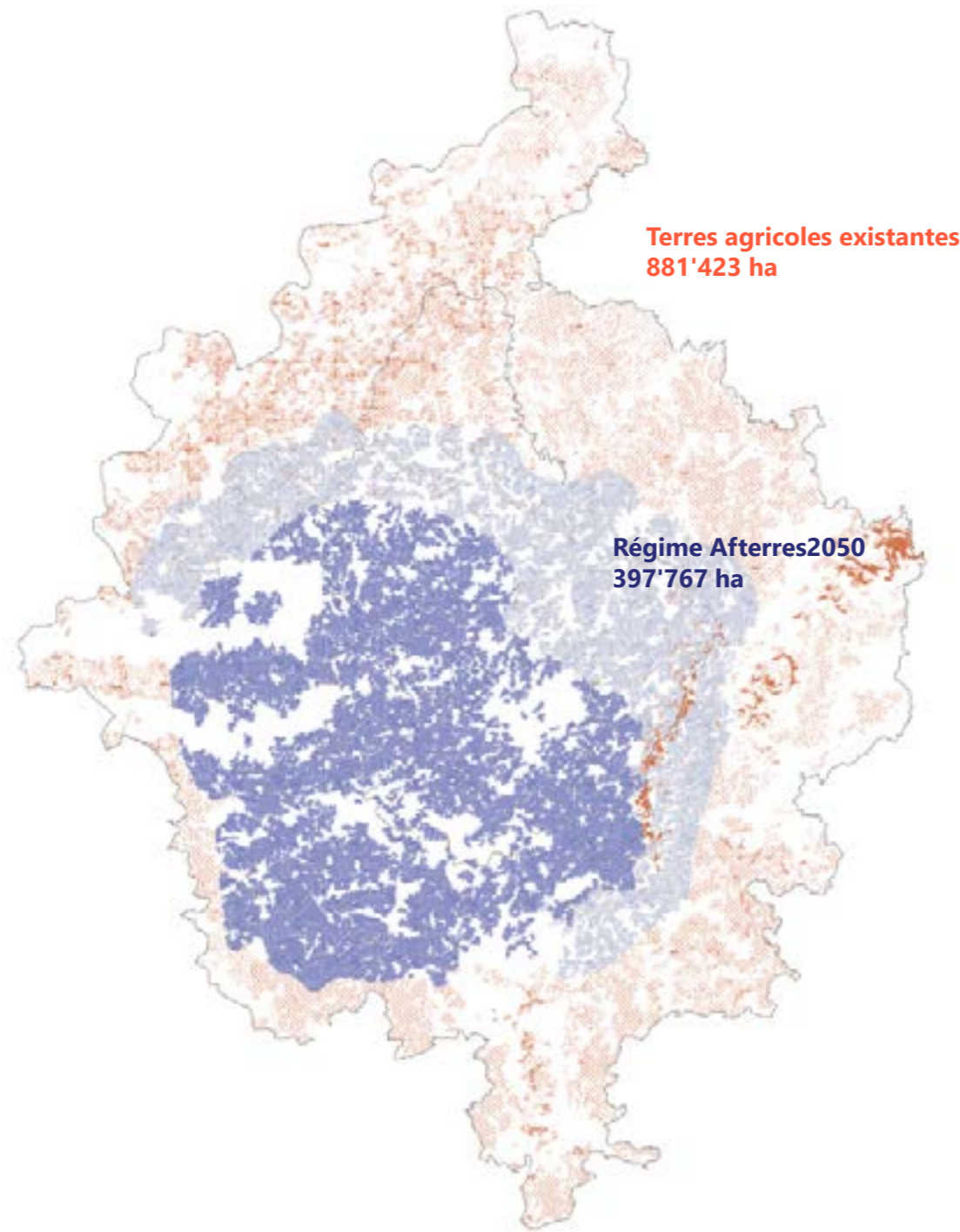


2020 : Une juxtaposition d'espaces



2050 : Un paysage de co-présence

# Vers un paysage nourricier



- Terres agricoles nécessaires pour un régime végétarien local (2050)
- Terres agricoles nécessaires pour un régime Afterres2050 (2050)
- Terres agricoles existantes



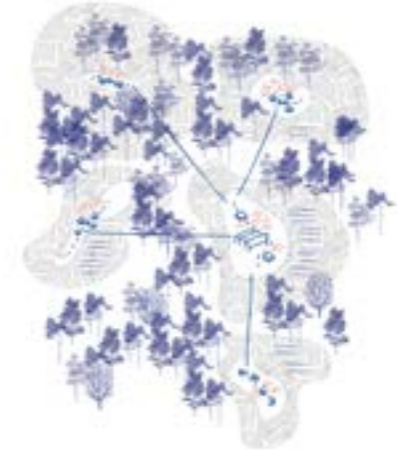
2020 : Une production agricole exportée, une alimentation importée  
Terres agricoles en région fonctionnelle : 4'394m<sup>2</sup> / habitant



2050 : Régime Afterres2050 et production locale  
Terres agricoles nécessaires : 1'737m<sup>2</sup> / habitant  
Reboisement de parcelles agricoles



Relocaliser la production agricole: Ceinture comestible autour des villes



Relocaliser la production agricole: Des réseaux d'échanges entre villages

# Un urbanisme agricole

## PARADOXES ACTUELS

Les paysages agricoles implantés sur les plateaux les plus aisément cultivables se sont originellement installés autour des villes et villages. Comme indiqué plus tôt, cette juxtaposition est une réelle opportunité pour amplifier des échanges entre ces milieux vers une plus grande circularité.

Malgré l'importance du territoire agricole (52% du territoire Luxembourgeois et de la région fonctionnelle), le Luxembourg exporte une grande partie de sa production agricole et est fortement dépendant des importations alimentaires. À titre d'exemple, en ce qui concerne la production de fruits et légumes, l'autonomie alimentaire du Luxembourg est actuellement de 3%)<sup>1</sup>.

Si la transition vers un territoire post-carbone passe par une transition urbaine et par un changement des modes de mobilité, il est primordial de penser également la transition des paysages froids et notamment des paysages productifs (agricoles et forestiers) qui représentent la majeure partie du territoire de la région fonctionnelle. A partir des années 1950, l'agriculture s'industrialise fortement et s'intensifie, transformant les paysages agricoles. Cette pratique agricole intensive, majoritaire au Luxembourg comme ailleurs,

est une des principales causes de la crise environnementale. Par son intensification, elle est responsable d'une simplification des paysages, d'une perte importante de la biodiversité, de l'appauvrissement des sols... La production au Luxembourg est principalement dédiée à la production laitière et aux plantes fourragères, ce qui se traduit par une transformation des paysages bocagers vers des exploitations de grande taille, des fermes familiales hautement mécanisées, un remembrement parcellaire et une quasi-disparition des haies bocagères.

Le secteur de l'agriculture est le 3<sup>e</sup> secteur responsable des émissions de gaz à effet de serre à l'échelle du Luxembourg après les secteurs des bâtiments et de la mobilité/transport<sup>2</sup>.

## DU PAYSAGE À L'ASSIETTE : NOUVEAUX MODÈLES AGRICOLES CIRCULAIRES

On observe une réelle volonté de la population Luxembourgeoise de consommer des produits sains, locaux. Selon un sondage du ministère de l'agriculture, 71% des personnes interrogées se disent disposées à payer plus pour un produit local et la provenance des produits est le premier critère (76%) lors de l'achat d'aliments. L'impact sur l'environnement (55%) et des produits issus de l'agriculture biologique

(52%) sont d'autres critères importants<sup>3</sup>.

Il est aujourd'hui nécessaire d'aller plus loin, passer du désir à l'action pour garantir l'approvisionnement local et substantiel de l'alimentation des luxembourgeois. Un changement radical en vue d'une décarbonation du Luxembourg et de sa région fonctionnelle implique évidemment un changement des habitudes alimentaires ainsi qu'une relocalisation de la production. La diversification de la production agricole et l'association des cultures, l'agroforesterie permet de développer une agriculture en volume, en trois dimensions dans laquelle une circularité est retrouvée entre cultures de surfaces, arbustives, arborées et le sol. Les paysages agricoles redessinent une complexité paysagère réintégrant fossés, haies et arbres au cœur des territoires. La réinvention, le redéploiement d'un paysage vernaculaire de structures bocagères permet de redévelopper des liens écologiques entre les espaces naturels et les espaces anthropisés, de développer des espaces refuges pour la biodiversité.

*"le siècle n'est plus à l'extension des villes mais à l'approfondissement des territoires<sup>4</sup>".*

Le changement d'habitudes alimentaires et de consommation (d'ici 2050, réduction de 50% des protéines animales – régime Afterres 2050 – pour l'ensemble de la population)

1 Stratégie nationale urban farming Luxembourg, mai 2019 – Ministère de l'Environnement, du climat et du développement durable – gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg.

2 Emissions gaz à effet de serre par secteur d'activités - Ministère du Développement durable et des Infrastructures

3 Evaluation de l'opinion publique – enquête du ministère de l'Agriculture, de la viticulture et de la Protection des consommateurs, 2018

4 L'art de la mémoire, le territoire et l'architecture, Sébastien Marot Le visiteur 4,1999

# Un urbanisme agricole

---

permet la relocalisation de la production agricole. En 2050, les productions agricoles sont renforcées et diversifiées (céréales, légumineuses, fruits et légumes, produits laitiers, fibres à usages textiles et autres usages, paille, bois).

Les espaces naturels et cultivables/cultivés autour des noyaux urbains sont sanctuarisés et les liens entre ville et campagne sont renforcés/réactivés. La diversification des productions et des modes de culture permet de nourrir l'entière population en ayant recours de façon marginale aux importations grâce à une agriculture géographiquement proche des consommateurs, décentralisée, utilisant très peu de produits phytosanitaires et présentant moins de risques pour les exploitants et les riverains.

La vente et la transformation des produits locaux dans des lieux d'échanges de proximité situés au carrefour de plusieurs villes et villages valorisent des circuits courts de distribution et assurent une économie durable pour les exploitants. En rapprochant ces lieux de productions des villes une fermeture des cycles biogéochimiques s'installe, les déchets organiques produits dans la ville (biodéchets, excréments et urine) sont récupérés et valorisés sous forme de compost, de biogaz et d'engrais organiques afin de nourrir les espaces agricoles sans avoir à recourir aux engrais de synthèse.

## **PAYSAGES AMPLIFIÉS : VERS DES CO PRÉSENCES MULTIFONCTIONNELLES**

La redécoupe parcellaire permet de redévelopper un réseau de chemins vicinaux, invitant à redécouvrir le paysage agricole comme un espace ouvert connectant le territoire agricole aux villes et villages. La mitoyenneté entre les paysages urbains et ruraux au Luxembourg permet une réelle interaction entre les milieux. La création de chemins vicinaux comme espaces publics, équipés connectant des programmes (fermes ouvertes, fermes pédagogiques, marchés ruraux...) valorisera les échanges, favorisera la rencontre entre ces milieux et permettra de rendre l'agriculture 'palpable', de rencontrer les producteurs...

En milieu urbain, le développement d'une agriculture urbaine pourra être un réel laboratoire pour le développement d'une autre agriculture biologique et diversifiée, il permettra l'émergence de nouvelles rencontres d'acteurs engagés dans une transition productive.

La transition alimentaire et agricole a un réel impact sur l'utilisation des sols, le changement de régime étudié<sup>1</sup> permettant une réduction des besoins en terres agricoles productives par habitant. Le scénario élaboré vise à relocaliser et

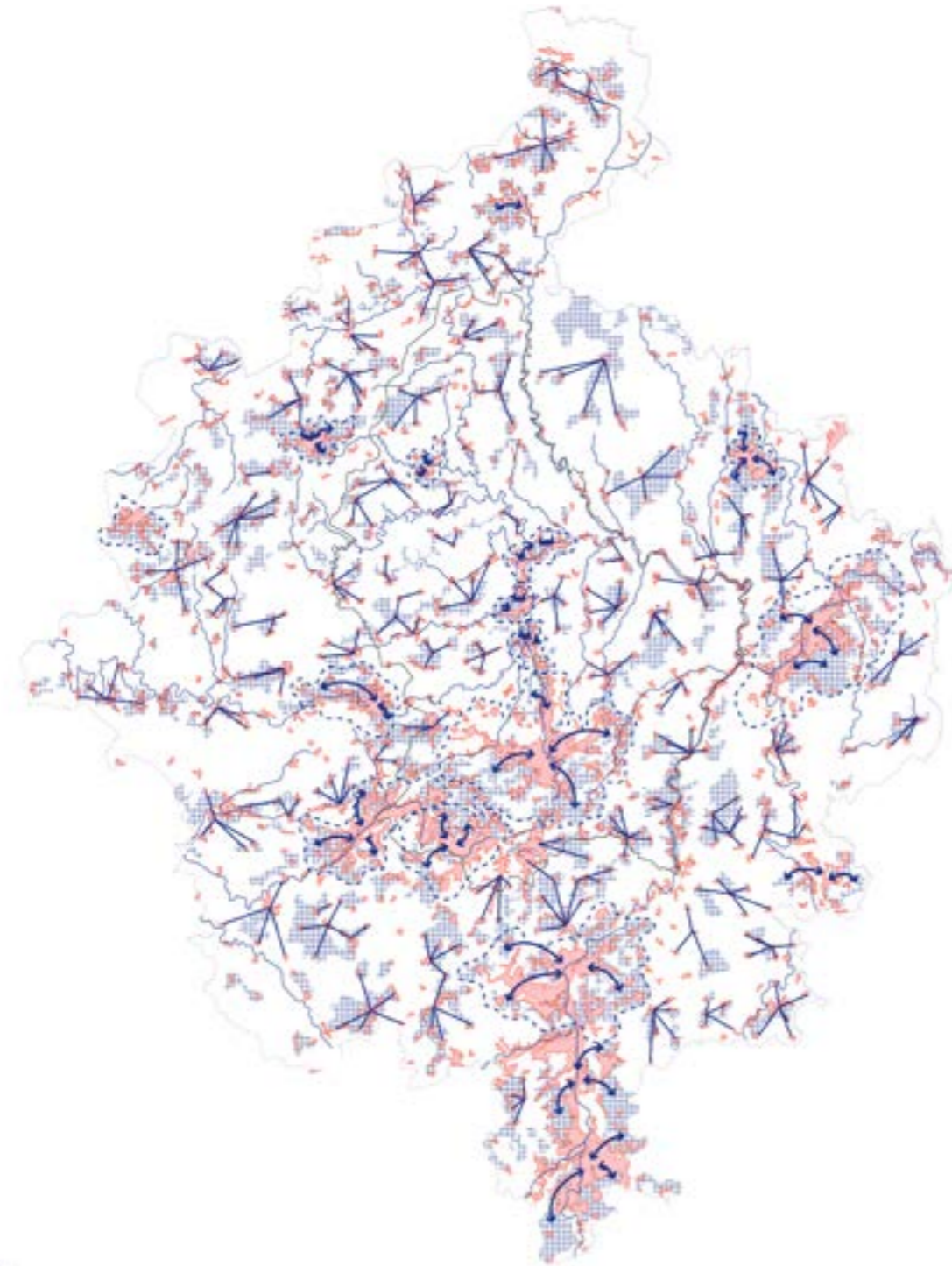
diversifier la production agricole autour des villes et villages, permettant de reboiser une partie<sup>2</sup> des terres agricoles récupérées. A ce reboisement est associé le développement de l'agroforesterie sur une partie des terres cultivées.

---

1 Sur base du régime Afterres 2050 (réduction de moitié de la consommation de viandes et de produits laitiers, réduction de la consommation de sucre, avec plus de légumes, céréales, légumineuses, fruits et fruits à coques)

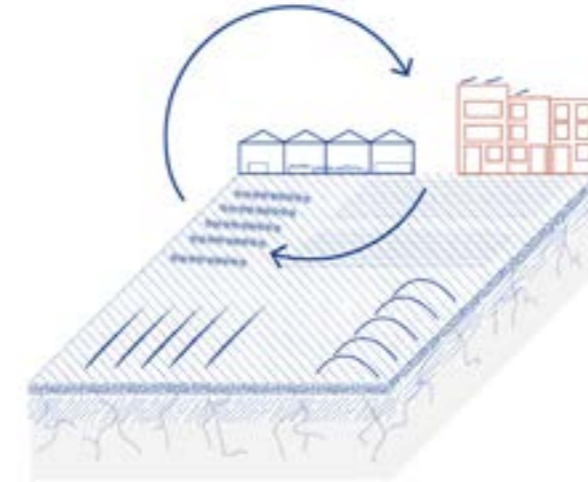
2 Le scénario élaboré envisage une autonomie alimentaire à l'échelle de la région fonctionnelle mais ne supprime pas totalement les cultures dédiées à l'exportation,

# Un urbanisme agricole



 Une couronne nourricière autour des villes

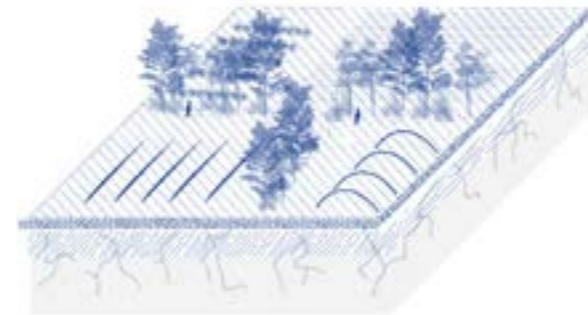
 Des villages en réseau, des centres d'échanges mutualisés



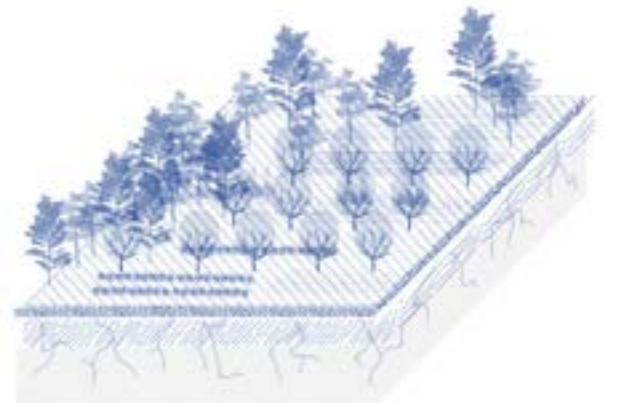
Relocalisation et diversification des productions à proximité des noyaux urbains  
Vers une autonomie alimentaire



Redécouvrir un territoire productif  
Redévelopper un maillage vicinal public



Redéfinition du parcellaire agricole et réinstallation d'un système bocager



Développement des polycultures et valorisation d'une 'culture multicouche', développement de l'agroforesterie

## Objectifs 2050 :

- Un régime alimentaire 'Afterres2050' pour tous
- Relocalisation et diversification des produits agricoles, une autonomie alimentaire visée
- Développement en polyculture et redéploiement d'un système bocager
- Une agroforesterie répandue: 25% des terres arables, 75% des prairies minimum

## 1.4. RÉINVESTIR LA FORÊT, CAPITAL CARBONE DU LUXEMBOURG



Paysage forestier, environs de Pommerloch

## Réinvestir la forêt

Le territoire du Luxembourg et la région fonctionnelle se caractérisent par ses imposantes forêts. Au Luxembourg, leurs surfaces représentent 34.3% du territoire. Le territoire se distingue en deux domaines singulièrement opposés, le Gutland au centre et au sud où les forêts sont dominées par la hêtraie et l'Oesling au nord dominées par les pessières (épicéas). Si ces deux domaines s'opposent, le développement de forêts monospécifiques caractérise globalement l'ensemble du territoire.



A l'échelle de la région fonctionnelle : 422'048 ha sont dédiés aux parcelles forestières monospécifiques (soit 75% de l'ensemble des espaces forestiers). Les domaines forestiers se partagent entre forêt privée et forêt publique (à l'échelle du Luxembourg, respectivement 55.2% et 44.8% de la surface boisée)<sup>1</sup>

On observe déjà avec le réchauffement climatique, un dépérissement significatif des épicéas et des hêtres, qui risque de s'accroître. Le réchauffement climatique et les sécheresses associées favorisent la prolifération de scolytes qui entraînent la mort des arbres. Au Luxembourg, une bonne partie des forêts d'épicéas sont déjà condamnées. Une rencontre avec un exploitant forestier local a confirmé la présence massive de scolytes dont la prolifération serait notamment favorisée par la présence de forêts monospécifiques et par un manque de gestion des parcelles forestières notamment privées où l'intensité des coupes est relativement faible voire nulle. Cette rencontre nous a permis également d'appréhender une autre difficulté de la foresterie au Luxembourg, l'exportation des bois. Avec seulement deux scieries sur le territoire et des prix peu attractifs, une grande partie du bois est envoyé vers les scieries allemandes ou belges générant des émissions de CO<sub>2</sub>

inutiles liées au transport. Plus grave encore, l'exportation massive vers la Chine (phénomène bien connu à Bruxelles en forêt de Soignes) où les bois sont envoyés, transformés puis revendus en Europe sous forme de panneaux...

### DES FORÊTS À RENOUVELER ET À EXPLOITER

Afin d'assurer une séquestration maximale du carbone, des forêts jeunes doivent être maintenues. Les boisements en place doivent donc être renouvelés et les espaces forestiers exploités. Des filières d'exploitation et de transformation du bois locales seront (re)développées afin d'assurer l'utilisation d'une grande partie du bois comme bois d'œuvre et matériau d'isolation (associé à la paille et au chanvre) dans un secteur de la construction autosuffisant. Les techniques de mises en œuvre du bois sont maîtrisées localement, ce qui évite les importations de panneaux en provenance de Chine. L'exploitation du bois et la production de matériaux localement portent un double rôle écologique : assurer la séquestration du CO<sub>2</sub> et sa conservation et s'inscrire dans un processus de rénovation et de construction écologique assurant le développement de bâtiments peu émissifs.

<sup>1</sup> La forêt du grand-Duché de Luxembourg sous la loupe de l'inventaire forestier national – J.Rondeux, V.Colson, G. Cuartero Diaz, N. Bourland, F.Burnay, M.Wagner – Janvier 2005



## Réinvestir la forêt

---

Au bord des routes principales, les zones d'activités économiques/industrielles à reconvertir sont des lieux privilégiés pour redévelopper ces nouvelles filières en rapprochant le matériau de sa destination et des consommateurs.

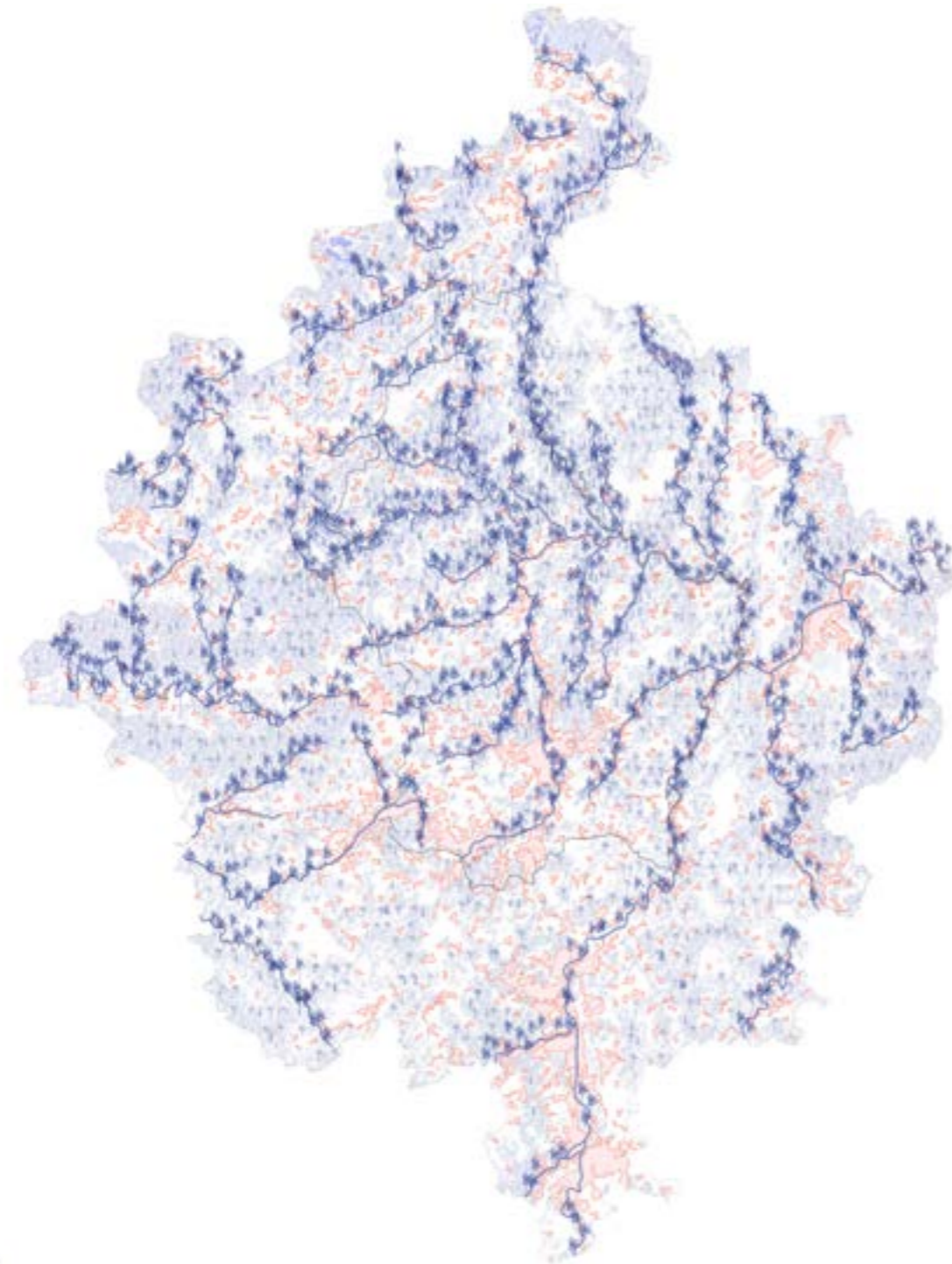
### **DES FORÊTS À DIVERSIFIER**

L'exploitation et le renouvellement des espaces forestiers sont guidés par le développement de forêts mixtes. Les essences sont diversifiées au niveau des espèces et au niveau des groupes génétiques renforçant la biodiversité au cœur de ces espaces et assurant une meilleure résistance aux aléas climatiques. Le développement d'une sylviculture irrégulière limitant les 'coupes à blanc' permettra une protection des écosystèmes. Ce modèle de sylviculture protège le sol, capital productif (biodiversité, écosystèmes...) de la forêt. À terme, les forêts exploitées devraient être des forêts mixtes développées en futaie irrégulière (disposant d'arbres d'âges différents). Les risques de ce type de forêt sont moindres (structurellement et biologiquement moins fragile) et les rendements potentiellement égaux en raison d'une croissance plus rapide dans les futaies irrégulières.

### **DES PAYSAGES VARIÉS**

Les espaces forestiers développés s'inscrivent dans un territoire écologique varié, partagé, vécu. Leur destination, fonction s'en trouve donc logiquement distincte. Les espaces forestiers déjà exploités et issus des parcelles agricoles reboisés sont des espaces de forêts mixtes maintenues jeunes, favorisant une importante séquestration carbone et fournissant une ressource matérielle. Ces espaces peuvent également être dédiés au pâturage extensif. Au cœur des vallées, le long des cours d'eau les forêts sont laissées en libre évolution, elles sont des lieux refuges pour la biodiversité et permettent d'accueillir des usages de loisirs, de ressourcement. Associés au réseau de mobilité active (déjà en partie existant) ces espaces sont des lieux frais irriguant de manière multiple le territoire. Un troisième paysage forestier existe, au plus proche des villes et villages, un paysage agroforestier nourricier.

# Réinvestir la forêt



 Des espaces de vieillissement en vallée.

 Des forêts étendues, diversifiées et exploitées



Régénération et déploiement de forêts mixtes



Des vallées refuges, espaces de vieillissement



Des forêts exploitées, développement d'une sylviculture irrégulière



Requalification et relocalisation de la filière bois

## Objectifs 2050:

- Diversification et exploitations des forêts existantes (privées et publiques)
- Amplification des forêts sur d'anciennes terres agricoles (+8%)
- Développement d'une sylviculture irrégulière
- Une filière à relocaliser et à intensifier, utilisation et transformation locale et massive d'un matériau séquestrant.

## 1.5. VERS LA « ZÉRO ARTIFICIALISATION BRUTE »



Chantier de logement collectif, Ellange

## Vers la « Zéro Artificialisation Brute »

Entre 2009 et 2015, l'artificialisation des sols s'est poursuivie à un rythme de 2,7% au Luxembourg, contre 2,1% en Lorraine, 2,3% en Rhénanie-Palatinat, 1,8% dans la Sarre et 1,6% en Wallonie<sup>1</sup>. Cette artificialisation n'est pas soutenable sur le long terme : **même avec la tendance la plus optimiste, une projection linéaire de cette tendance conduirait à *intégralement* artificialiser la région fonctionnelle luxembourgeoise en l'espace de quelques siècles.**

Il est évidemment absurde d'imaginer qu'on pourrait aller jusqu'à convertir 100% des terres agricoles, des forêts, des zones naturelles, en territoire urbanisé : l'artificialisation de la région fonctionnelle luxembourgeoise prendra fin avant. Mais l'enjeu est que celle-ci prenne fin le plus tôt possible, car **chaque année qui passe entame les capacités de résilience de la région fonctionnelle (alimentaire notamment) et distend ses liens à la nature.** En outre, les espaces agricoles, forestiers, naturels constituent de précieux puits de carbone qu'il convient désormais de préserver au maximum pour atteindre la neutralité carbone.

**A l'échelle de la région fonctionnelle, il convient ainsi de viser la ZAN (zéro artificialisation nette), et même de tendre au plus vite vers la ZAB (zéro artificialisation brute),** car nous maîtrisons mal les processus de « réparation écologique ». Plutôt qu'éviter / réduire / compenser, gardons à l'esprit qu'il est bien plus efficace d'éviter / éviter / éviter. Dans le domaine environnemental, prévenir est toujours bien plus sage que réparer, et c'est d'abord sur la réduction à la source, sur la sobriété ou la frugalité, que les choses se jouent.

Cette sobriété doit ainsi infuser à tous les niveaux, dès l'expression des besoins. Il ne s'agit pas seulement de construire mieux, de concevoir et réaliser de « bons » projets, les plus neutres en carbone possibles; avec les volumes actuels, s'il fallait tout construire ou presque avec des matériaux biosourcés, les ressources disponibles n'y suffiraient pas, loin de là. **Il s'agit donc d'abord de construire moins, de questionner fondamentalement les besoins et les programmes, d'intensifier intelligemment l'usage du bâti existant, de lutter contre l'obsolescence des lieux,** en multipliant les fonctions, en privilégiant la réhabilitation, en faisant évoluer nos référentiels culturels.

<sup>1</sup> Source : projet COPERNICUS.

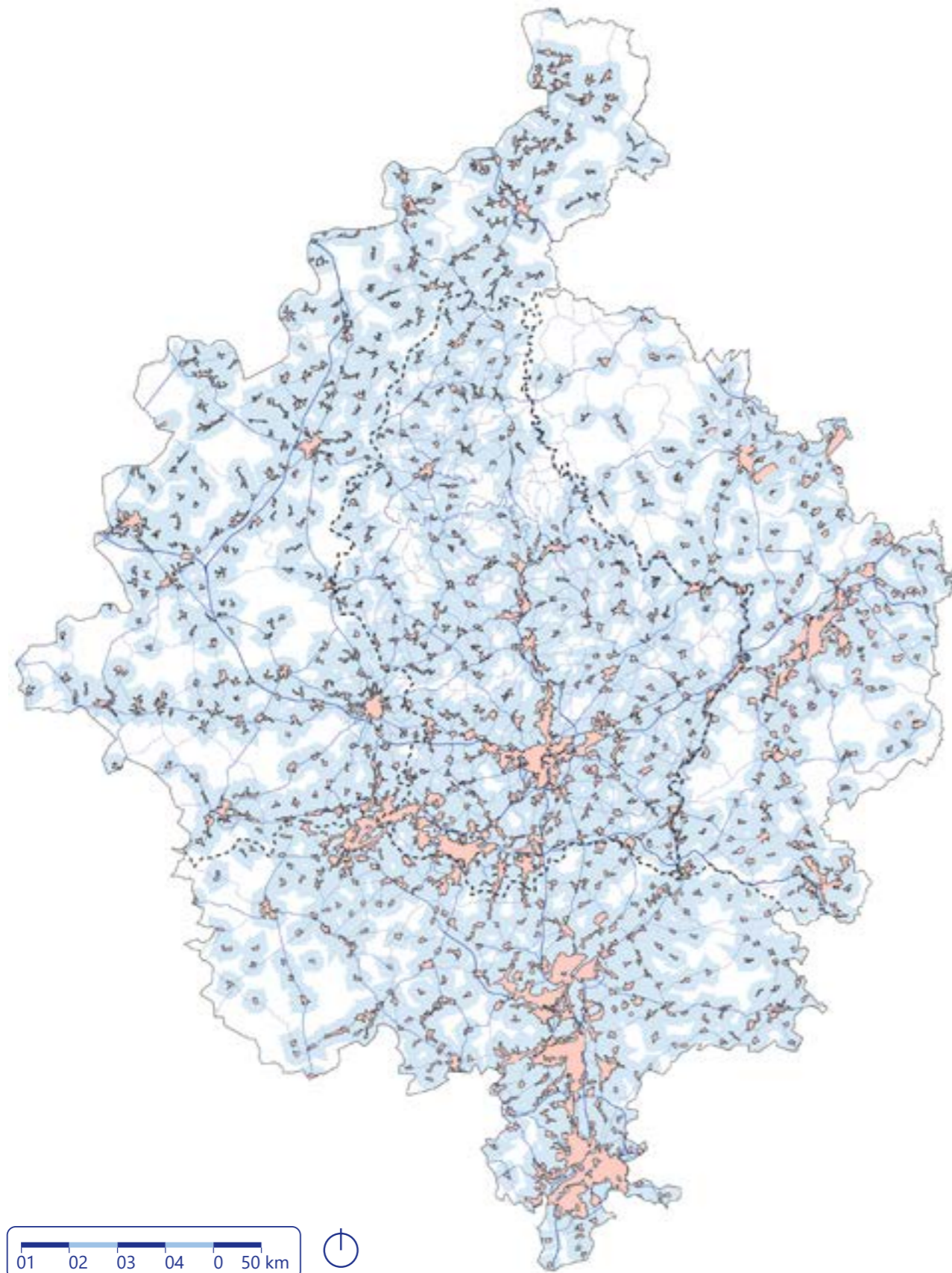


Il faut passer des maires bâtisseurs aux maires embellisseurs (enchanteurs ?) des lieux de vie.

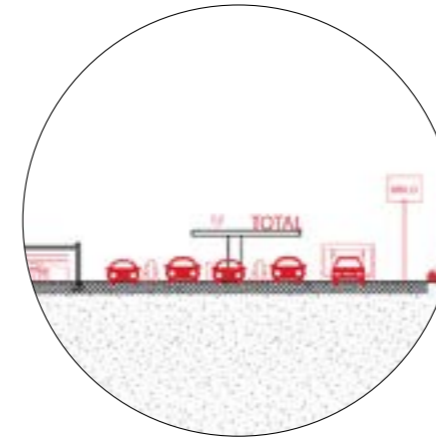
Tout le secteur du bâtiment devra embarquer dans cette aventure bien éloignée des habitudes prises dans le « monde d'avant » : les maîtres d'ouvrage et leurs conseils, pour prendre les décisions courageuses, accepter de mener les expérimentations, transformer leur commande ; les urbanistes pour raisonner différemment et mettre la préservation au cœur de leurs réflexions ; les programmistes pour « chasser » les mètres-carrés surnuméraires; bien sûr, ensuite, les concepteurs, architectes et bureaux d'études, pour déployer toute l'agilité nécessaire aux adaptations à l'existant.

**Cet objectif de « zero artificialisation brute » sera, enfin, l'occasion de retisser des liens fructueux entre zones artificialisées et espaces naturels et agricoles.** Les franges urbaines, aujourd'hui peu investies car toujours mouvantes, au gré de l'évolution du front urbain, pourront alors être enrichies de nouveaux usages et contribuer à plein à la transition écologique de la région fonctionnelle.

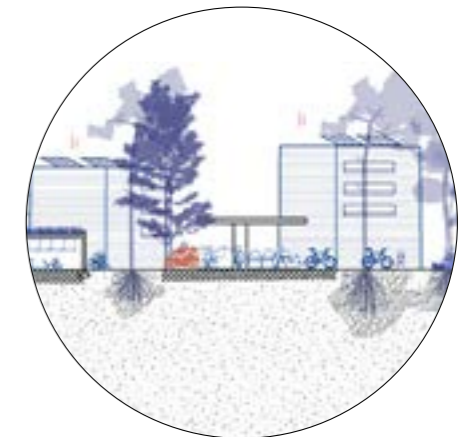
# Stratégie "zero artificialisation brute"



Zéro artificialisation brute et intensification urbaine

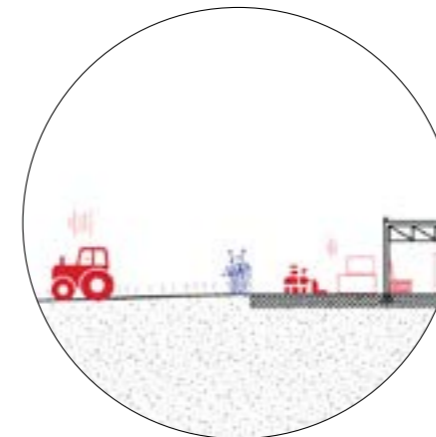


2021

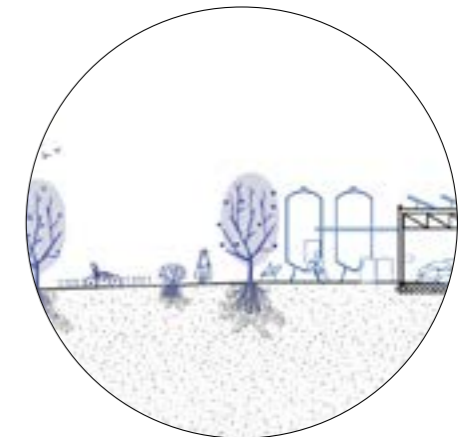


2050

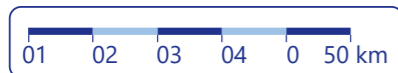
Relation ville / campagne



2021



2050



# 1.6. DÉCLINAISON DE LA STRATÉGIE À HORIZONS 2022, 2030 ET 2050

PREFIGURATION 2022	OBJECTIF 2030	OBJECTIF 2050	Acteurs mobilisés					Effet levier sur l'empreinte carbone pour un échantillon de 500 hab. de Luxembourg Ville (tCO2e/personne/an) <i>(voir détail et hypothèses en partie 4)</i>
			Union Européenne	Etats	Collectivités locales	Acteurs privés	Citoyens & associations	

1. DECARBONATION DES MOBILITES									
1.1 Management de la demande et mobilité									
1.1.1	Ville du quart d'heure et réduction de la dépendance à l'automobile	Création de guichets de services publics itinérants dans les communes rurales et périurbaines.	Développement des micro-équipements de proximité dans chaque commune (sports, culture, loisirs, commerce, services publics, santé...).	100% des habitants de la région fonctionnelle à moins de 15 minutes à vélo d'une offre culturelle ou sportive.		•	•	•	
1.1.2	Développement du télétravail	Création de centres de télétravail de proximité dans les communes frontalières comptant le plus de travailleurs frontaliers.	Objectif 2 jours de télétravail/semaine en moyenne pour les actifs de la région frontalière.	/		•	•	•	-0,13
1.1.3	Rééquilibrage habitat/emplois à l'échelle de la région fonctionnelle		Hausse de l'offre de logements abordables au Luxembourg (reconversion de bâtiments tertiaires et densification des tissus existants en construction biosourcée) et stimulation de l'accueil d'activités dans les régions frontalières.			•	•	•	-0,06
1.2 Vélo & modes actifs									
1.2.1	« Plan Marshall » des infrastructures vélo	Pistes cyclables provisoires sur les principaux axes et refonte du plan de circulation pour pacifier le réseau viaire secondaire.	50% du réseau routier primaire équipé de pistes cyclables	100% du réseau primaire cyclable	•	•	•		-0,31
1.2.2	Mesures d'accompagnement au déploiement des infrastructures vélo	2022 grande année du vélo à l'échelle de la région fonctionnelle. Prime à l'équipement de vélos à assistance électrique pour les particuliers, les collectivités et les entreprises	100% des écoles de la Région fonctionnelle équipées d'un service de pédibus / vélobus ; 90% des déplacements des collégiens et lycéens à pied, vélo ou micromobilités	Objectif part modale vélo 2050 à l'échelle de la Grande Région = 40%		•	•	•	
1.3 Automobile & réseau viaire									
1.1.1	Réduction des vitesses sur l'ensemble du réseau routier de la Région Fonctionnelle	Passage de 130 à 110km/h par tout temps sur autoroute ; Passage de 90 à 80 km/h hors agglomération ; Généralisation des 20 et 30 km/h en ville	Passage de 110 à 80 km/h sur les autoroutes, transformées en voies multimodales, productrices d'énergies renouvelables	/		•	•		-0,33
1.1.2	Transition de tous les véhicules vers des motorisations bas carbone	Plan de "Retrofit" de véhicules thermiques en véhicules électriques. Affectation d'une voie aux covoitureurs, TC et véhicules bas carbone sur le réseau autoroutier dès 2022.	Objectif 50% de véhicules électriques. Interdiction à la vente des véhicules thermiques	100% de véhicules électriques. Plus aucun véhicule thermique en circulation	•	•		•	-0,31
1.1.3	Développement du covoiturage	Affectation d'une voie aux covoitureurs, TC et véhicules bas carbone sur le réseau autoroutier dès 2022.	Renforcement des mesures de promotion du covoiturage.			•	•	•	-0,36
1.1.4	Réduction du poids des véhicules		Réduction du poids moyen des voitures de 100kg.	Réduction du poids moyen des voitures de 200kg.	•	•		•	-0,02
1.1.5	Rééquilibrage du partage de la voirie au service de la transition	Moratoire sur la création de nouvelles voiries magistrales et réaffectation de portions de voiries aux mobilités actives et transports en commun via des aménagements provisoires (urbanisme tactique). Lancement du premier "festival du Parklet" à Luxembourg Ville pour convertir des places de stationnement en terrasses et aménités de proximité.	Réaffectation de 25% de la voirie et des espaces de stationnements existants au service de la transition (vélo, transports en commun, usages de proximité, production photovoltaïque, désimperméabilisation, trames vertes et bleues, etc)	Réaffectation de 50% de la voirie et des espaces de stationnements existants à d'autres usages (vélo, transports en commun, usages de proximité, production photovoltaïque, désimperméabilisation, trames vertes et bleues, etc)	•		•		
1.1.6	Encadrement stricte de l'usage des véhicules autonomes pour limiter leur effet rebond sur la demande de mobilité	Rédaction d'une charte sur l'usage des véhicules autonomes à l'échelle de la Grande Région, réservant leur utilisation à des usages partagés ou à des situations de dépendance.	/	/	•	•			
1.4 Transport logistique									
1.4.1	Diminution du fret routier au profit du fret ferroviaire, fluvial et cyclable (pour le dernier km)	Plan de relance du fret fluvial et ferroviaire.	Généralisation des logiques de circuit court, de récupération et de réemploi pour réduire les besoins logistiques. Diminution du fret routier au profit du fret ferroviaire et fluvial. Développement de la logistique à vélo pour le dernier km et de l'intermodalité fer/eau/vélo.		•	•	•	•	
1.5 Transport aérien									
1.5.1	Diminution du trafic aérien	Lancement d'un "festival du train de nuit" au départ et à l'arrivée de Luxembourg-Ville.	Stimulation du tourisme ferroviaire, fluvial et à vélo au sein de la Grande Région et en Europe. Baisse du trafic aérien business au profit des échanges dématérialisés (colloques en distanciel, etc.).	Baisse de 90% du trafic aérien de loisir, pouvant potentiellement se redévelopper après 2050 si les technologies de décarbonation du secteur aérien le permettent.	•	•		•	-0,49

# DÉCLINAISON DE LA STRATÉGIE À HORIZONS 2022, 2030 ET 2050

PREFIGURATION 2022	OBJECTIF 2030	OBJECTIF 2050	Acteurs mobilisés					Effet levier sur l'empreinte carbone pour un échantillon de 500 hab. de Luxembourg Ville (tCO2e/personne/an) (voir détail et hypothèses en partie 4)
			Union Européenne	Etats	Collectivités Locales	Acteurs privés	Citoyens & associations	

2. TRANSITION DES SOLS									
2.1 Agriculture & Alimentation									
2.1.1	<b>Zero Artificialisation Brute</b>	Protection des zones dédiées à la production alimentaire; Protection des zones naturelles non imperméabilisées;	Réguler le marché agricole locatif et acquisitif pour inciter au développement de pratiques agricoles durables (contrôle de la spéculation, banque foncière); Mobiliser les réserves foncières publiques pour le développement d'une agriculture locale et durable;	Objectif Zero Artificialisation Brute.		•	•		
2.1.2	<b>Diversification de la production agricole Vers une autonomie alimentaire</b>	Evaluation et recensement des initiatives locales et bonnes pratiques sur le territoire; Accueillir et tester de nouvelles formes d'agricultures et de nouveaux acteurs (investir les vides, délaissés, réserves foncières publiques...); Favoriser l'installation de potagers, vergers... dans les espaces et institutions publiques	Réorientation de la production agricole vers les besoins locaux; Aide et accompagnement à la diversification des activités au sein des exploitations agricoles ; Aide et accompagnement à l'installation de nouveaux agriculteurs ou au changement de pratiques d'agriculteurs en place ; Promotion de l'agroforesterie, de la polyculture, de la permaculture ; Développement d'espaces hybrides (fermes ouvertes, production, transformation, vente, espaces pédagogiques et culturels...)	Interdiction de la monoculture; 50% des surfaces agricoles développées en agroforesterie; Autonomie alimentaire par la production locale ;	•		•	•	
2.1.3	<b>Alimentation locale et durable</b>	Soutenir la vente en circuit court: AMAP, vente à la ferme, plateforme web de vente de produits locaux...; Rapprocher les citoyens des espaces agricoles, pratiques et acteurs du système alimentaire; Développer et soutenir des espaces d'expérimentation (cantines locales...)	Orienter les programmes d'alimentations collectives vers une consommation locale et mettre en place des échanges entre collectivités et producteurs; Soutenir la création de structures de distribution alimentaire provenant de l'agriculture locale; Développer et/ou promouvoir les labels de production et de transformation locale	Politique fiscale pour la consommation de produits locaux; 50% de produits alimentaires issus de l'agriculture biologique; 100% de la consommation alimentaire issue d'une agriculture locale (hors produits ne possédant pas de potentiel d'exploitation locale)			•	•	
2.1.4	<b>Changement de comportement alimentaire</b>	Promotion de régimes alimentaires durables, campagne de sensibilisation, éducation; Diversification des menus dans les programmes d'alimentations collectives, valoriser les menus moins carnés et de saison		Une consommation de produits carnés réduite de moitié Consommation importante de produits végétaux produits localement Augmentation significative de produits non transformés			•	•	<b>-0,26</b>
2.1.5	<b>Circularité et énergie</b>	Valoriser les initiatives locales de récupération des déchets (compost); Sensibiliser à la gestion et à la valorisation des déchets; Soutien à la création de coopératives d'énergies	Créer des plateformes de mutualisation et d'accessibilité aux outils de production et de transformation ; Développer des espaces communs pour le stockage, la transformation et la distribution de produits alimentaires locaux ; Mise en place de réseaux locaux de compostage et de valorisation des déchets ; Promouvoir les sources d'énergie renouvelables dans le système alimentaire	L'ensemble des déchets urbains valorisables sont réutilisés dans la production d'énergie et/ou production agricole Développement de réseaux de méthanisation			•	•	
2.1.6	<b>Reconnecter milieu urbain et milieu agricole</b>	Développement d'un réseau de fermes de démonstration (en milieu urbain et rural)	Redéploiement d'un réseau de chemins publics vicinaux Favoriser le développement de l'agriculture urbaine; Développement de lieux d'échanges et de transformation à l'interface des territoires urbains et agricoles Adaptation des pratiques agricoles et ouvertures à d'autres activités (pédagogique, de loisirs...)				•	•	
2.1.7	<b>Des pratiques agricoles durables et écologiques</b>	Developper des laboratoires de pratiques agricoles eco-responsable; Tester un système bocager sur les parcelles laboratoires	Soutien et accompagnement des agriculteurs de la filière biologique, en reconversion et les nouveaux agriculteurs bio ; Redéploiement d'un maillage bocager au cœur des territoires agricoles développant de nouveaux corridors écologiques ;				•	•	

# DÉCLINAISON DE LA STRATÉGIE À HORIZONS 2022, 2030 ET 2050

		PREFIGURATION 2022	OBJECTIF 2030	OBJECTIF 2050	Acteurs mobilisés					Effet levier sur l'empreinte carbone pour un échantillon de 500 hab. de Luxembourg Ville (tCO2e/personne/an) (voir détail et hypothèses en partie 4)
					Union Européenne	Etats	Collectivités Locales	Acteurs privés	Citoyens & associations	
<b>2.2 Foresterie</b>										
2.2.1	<b>Des forêts à renouveler et exploiter</b> Assurer une séquestration de carbone continue	Organiser des actions de replantations d'espaces forestiers déboisés Actions citoyennes de replantation	Accompagner la régénération des boisements; Assurer l'exploitation de tous les espaces forestiers (y compris les espaces forestiers privés, peu exploités); 2030 : 90% des espaces forestiers de la grande région sont exploitées	Etendre les exploitations forestières (50% de terres agricoles non dédiées à une production alimentaire locale); Développement de l'agroforesterie (voir chap. agriculture, 50% des terres agricoles)		•		•	•	
2.2.2	<b>Des forêts à diversifier</b> Adaptation au changement climatique et renforcement écosystémique	Développer des espaces laboratoires dédiés à la plantation mixte et l'adaptation des essences; Développer des espaces laboratoires de transplantation et de plantations 'en acupuncture' (par petites touches dans le temps et l'espace)	Assurer une mixité d'essences adaptées au climat et sol pour l'ensemble des espaces forestiers exploités; Planification à l'échelle de la grande région de l'exploitation et du renouvellement des espaces forestiers; Développement d'une sylviculture irrégulière	Assurer une mixité d'essences pour la plantation de nouvelles parcelles forestières La sylviculture irrégulière est répandue à l'ensemble des forêts exploitées		•		•		
2.2.3	<b>(Re)Développement d'une filière locale</b>	Développement d'ateliers de transformation du bois; Mise en avant des artisans et ateliers locaux associés à cette filière	Développement de scieries locales et de microscieries; Accompagner et soutenir le développement; d'activités d'exploitation, de transformation et de vente de bois locales; Développer une politique d'aide financière pour l'exploitation locale du bois (notamment scieries) Soutenir la filière de construction bois et l'utilisation de matériaux biosourcés; Utilisation privilégiée de bois local pour la construction d'infrastructures, équipements et mobilier public	Généralisation de la construction en matériaux biosourcés issus de filières locales. Bonus/malus carbone sur les matériaux de construction		•		•	•	
<b>2.3. Protection et renforcement de la biodiversité</b>										
2.3.1	<b>Renforcement de la trame verte et bleue</b>	Plan de renforcement de la trame verte et bleue à l'échelle de la région fonctionnelle (renforcement et reconnexion physique des trames existantes);	Les vallées boisées comme espaces refuges (gestion extensive, espaces de vieillissement des boisements); Maximisation de l'hétérogénéité spatiale, fonctionnelle et biologique des territoires via les nouvelles pratiques agricoles et forestières (voir chapitres agriculture et foresterie)			•	•			
2.3.2	<b>Gestion des espaces verts</b>	Espaces verts tests de gestion différenciée Développement d'alternatives au désherbage chimique et à l'utilisation de produits phytosanitaires	Gestion différenciée et suppression des produits phytosanitaires dans les espaces publics				•			
2.3.3	<b>Désimperméabilisation et renaturation des espaces urbains</b>	Favoriser les actions citoyennes de désimperméabilisation des rues et espaces publics Favoriser les actions citoyennes de renaturation des rues	Mise en place d'un plan de gestion intégrée des eaux pluviales: réseau viaire et parkings privés et publics; Infiltration et/ou stockage et réutilisation des eaux Les dispositifs végétalisés de gestion intégrée des eaux pluviales sont privilégiés (noues, jardins de pluie...) Mise en place d'un plan canopée pour les noyaux urbains de la région fonctionnelle	100% du réseau viaire équipé de dispositifs de gestion intégrée des eaux pluviales. Désimperméabilisation des parkings : 100% des eaux pluviales des surfaces de parkings privés ou publics sont infiltrées ou réutilisées			•	•	•	



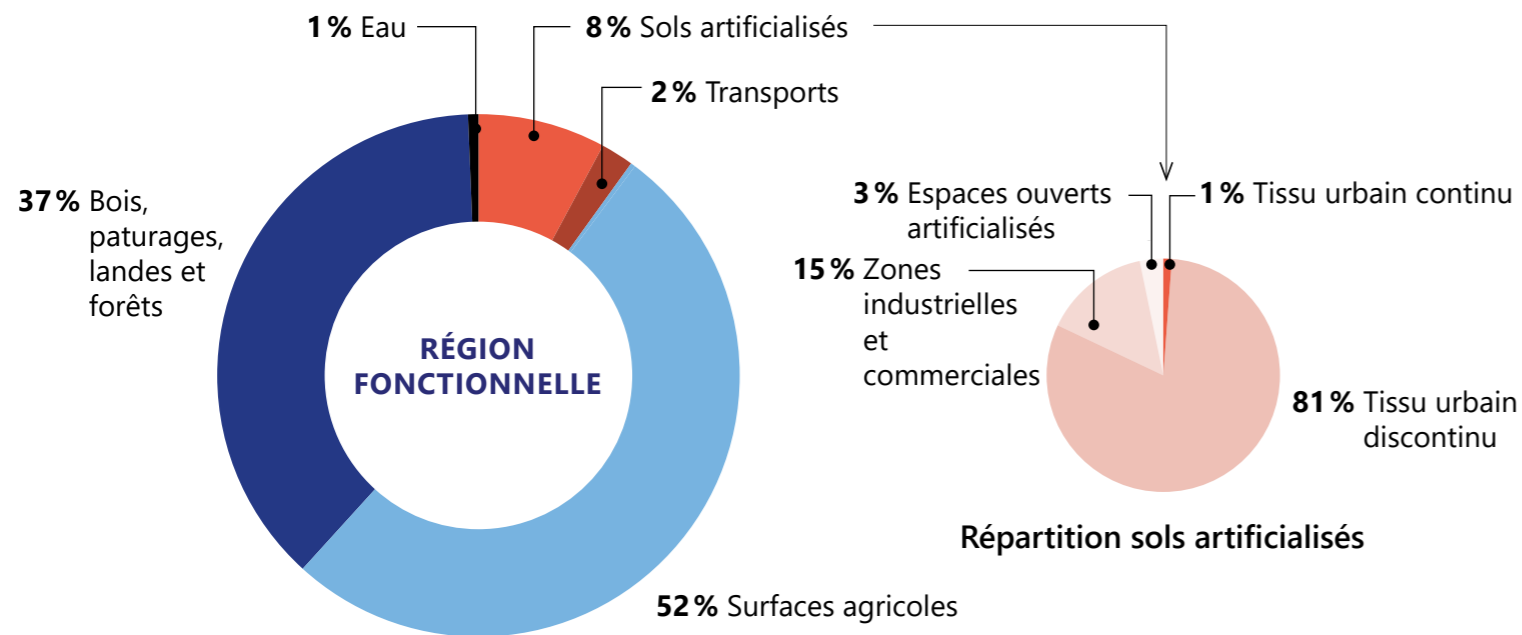
## 1.7. ÉVOLUTION DU MODE D'OCCUPATION DES SOLS

Le mode d'occupation des sols (MOS) constitue un indicateur intéressant pour monitorer la trajectoire de transition d'un territoire (outil à compléter bien sûr avec des outils d'analyses qualitatives).

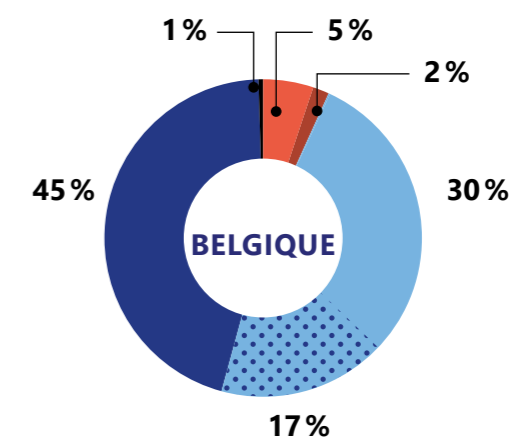
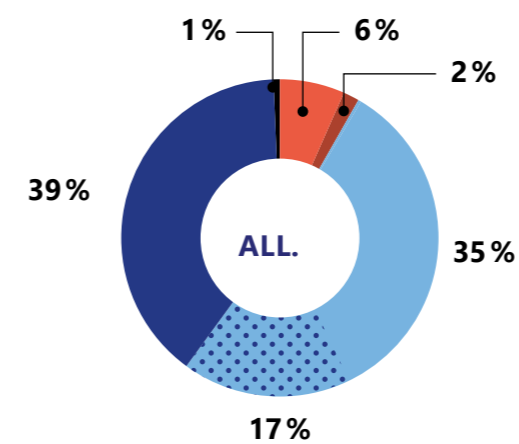
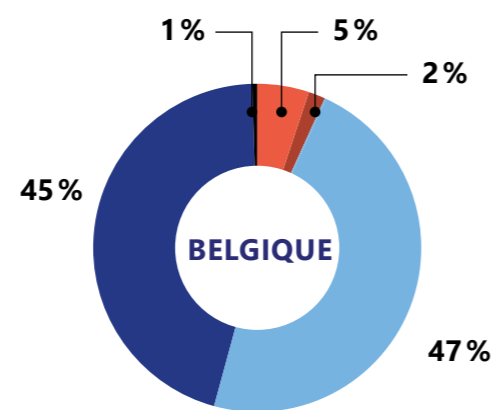
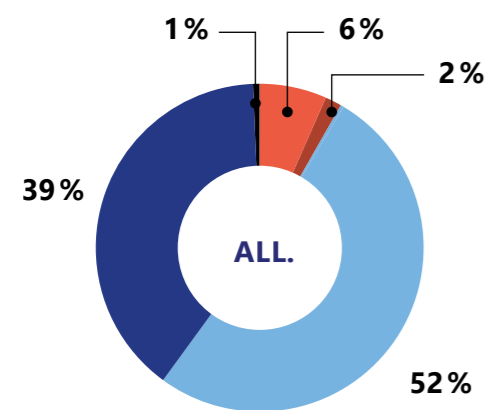
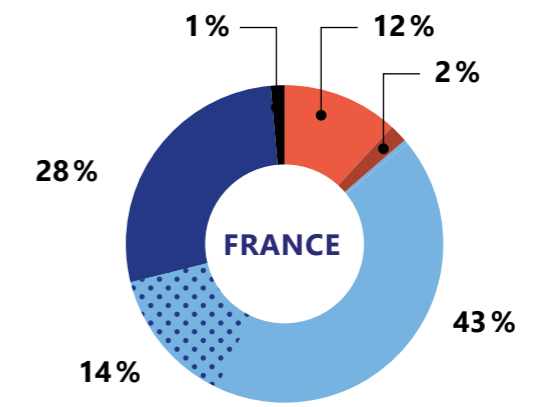
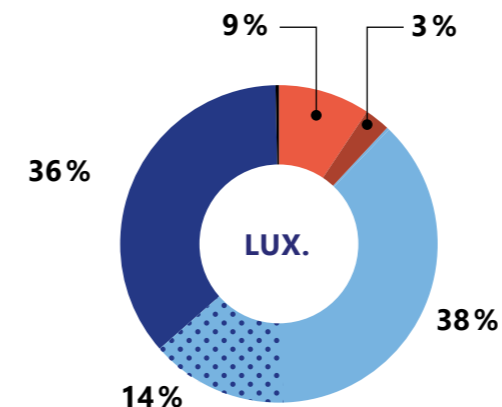
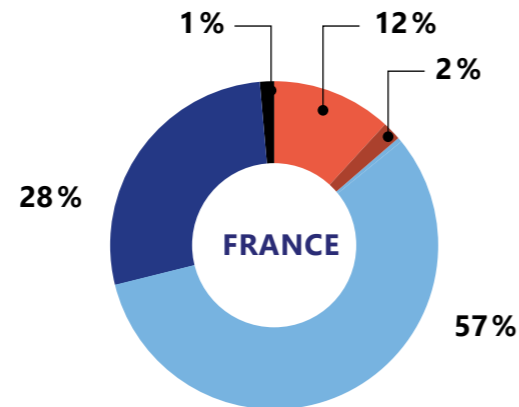
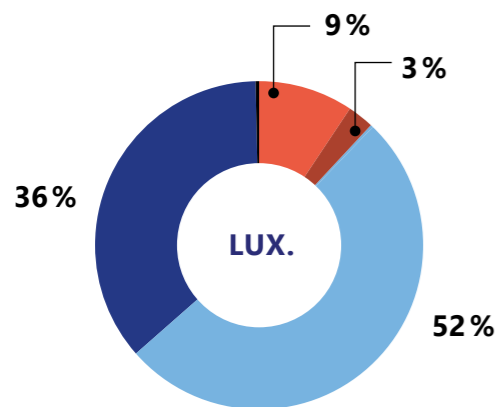
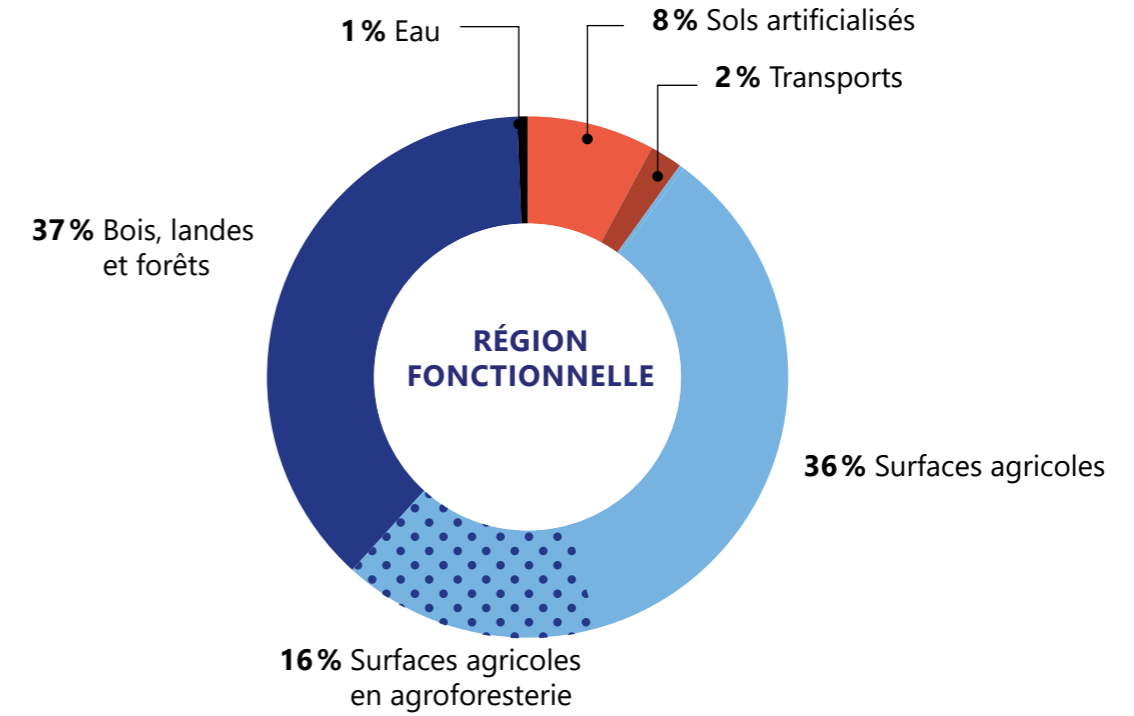
Appuyé sur les données du Corinne Land Cover, corrigées par l'équipe *f(lux)* pour y intégrer les surfaces dédiées aux mobilités (réseau viaire extrait des données OpenStreet-Map), nous proposons une esquisse de ce que pourrait être le MOS de la région fonctionnelle en 2030 : un territoire fonctionnant à « zone artificialisée constante » (principe de Zero Artificialisation Brute), dont une partie des surfaces agricoles pourrait être reconvertie en agroforesterie afin d'optimiser la capacité de séquestration carbone du territoire – transition permise par le changement de régime alimentaire moyen.

L'agroforesterie constitue en outre un bon exemple de la logique d'intensification des usages et de cobénéfices que nous proposons d'adopter. Au-delà de la vision catégorielle du MOS, un mètre carré de sol peut en effet rendre plusieurs services pour la transition, et servir plusieurs usages différents selon les temporalités (produire de l'énergie, stocker, etc.).

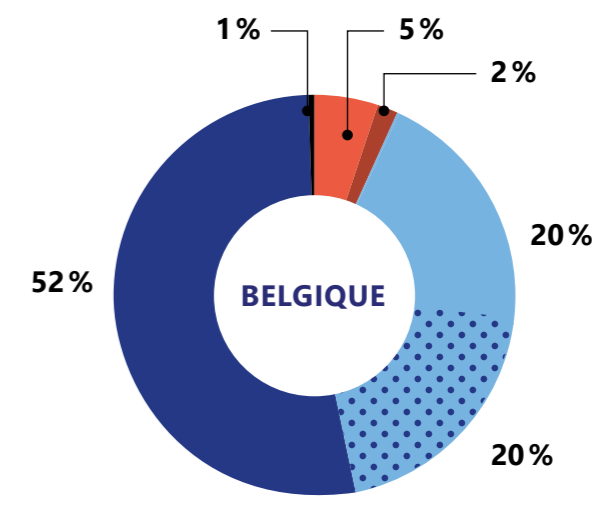
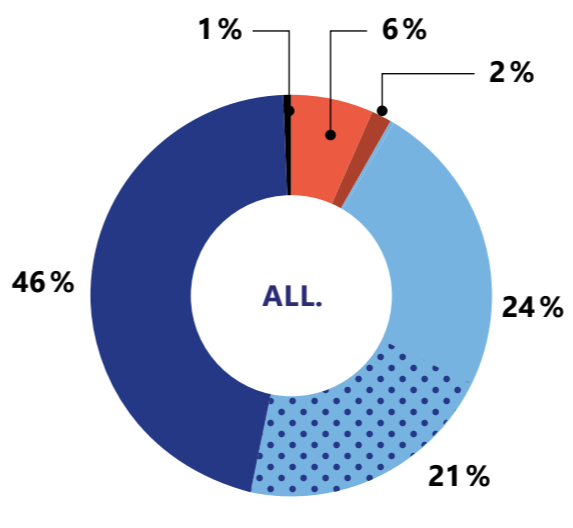
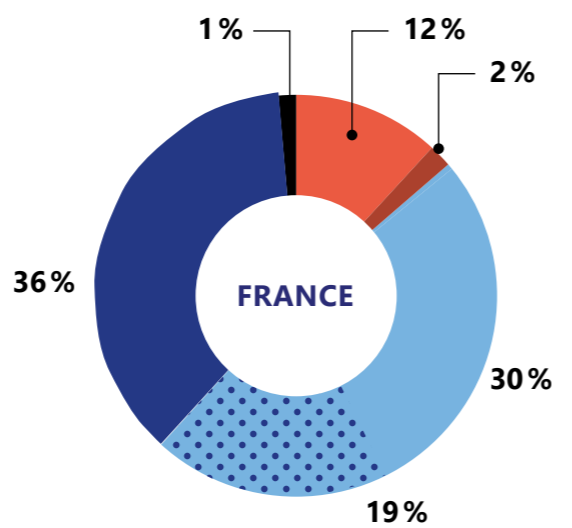
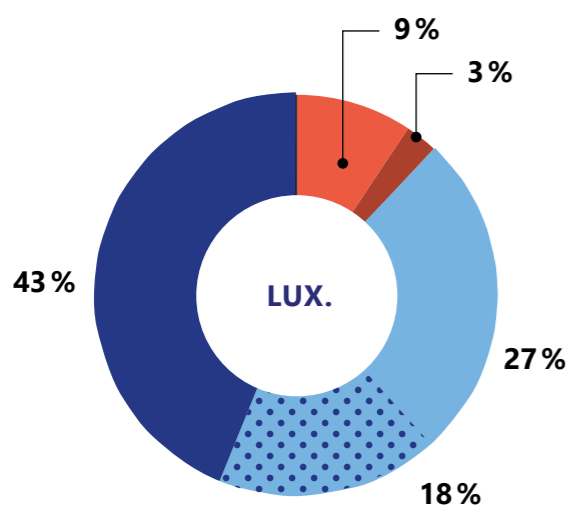
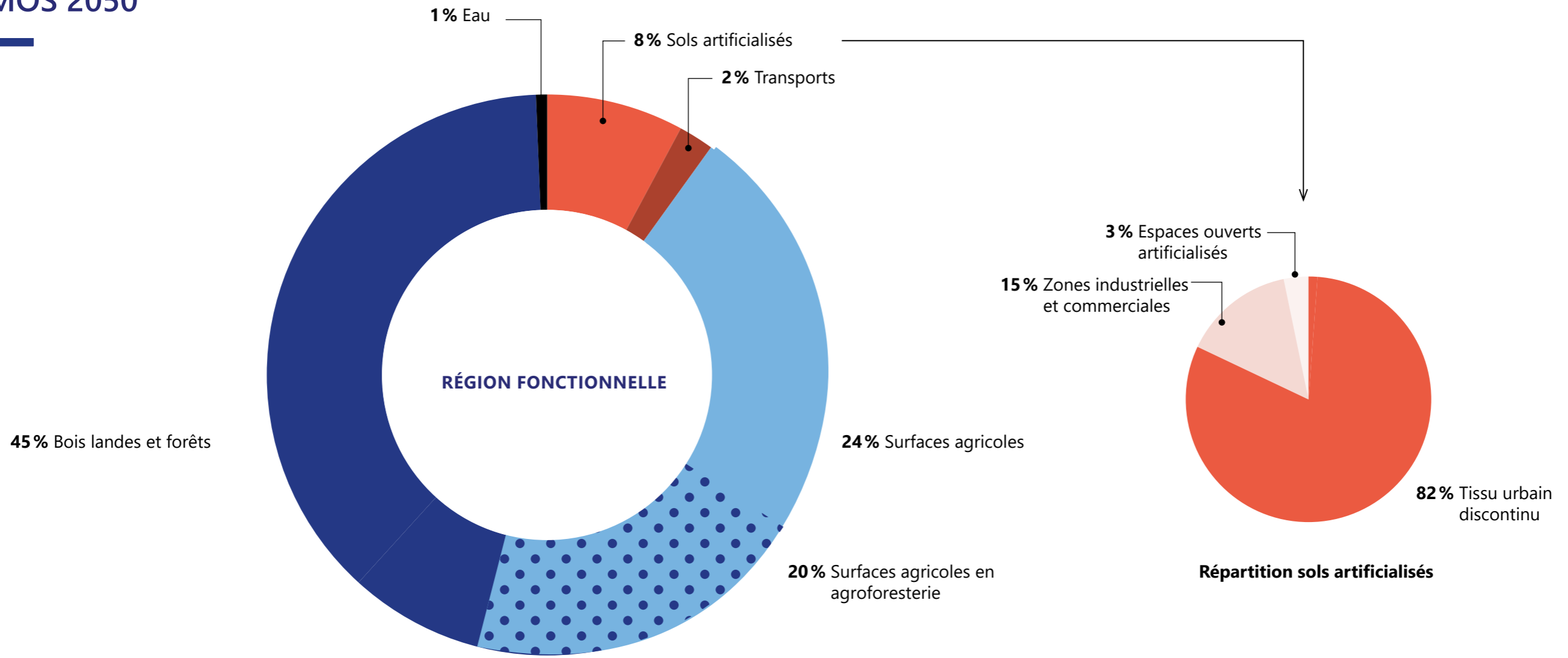
## MOS 2020



## MOS 2030



# MOS 2050



---

# 2. Mise en œuvre de la stratégie

au travers de 4 cas d'études

## 2.1. CHOIX DES 4 SITES D'ÉTUDES

Afin d'expérimenter la mise en œuvre de notre stratégie à l'échelle locale, nous avons sélectionné quatre sites d'étude, choisis à la fois pour leur diversité et pour leur représentativité de la région fonctionnelle luxembourgeoise.

Si aucun site potentiel ne nous apparaissait a priori inintéressant (l'ensemble du territoire ayant vocation à participer à la transition), nous avons néanmoins défini plusieurs critères de sélection afin de retenir des sites :

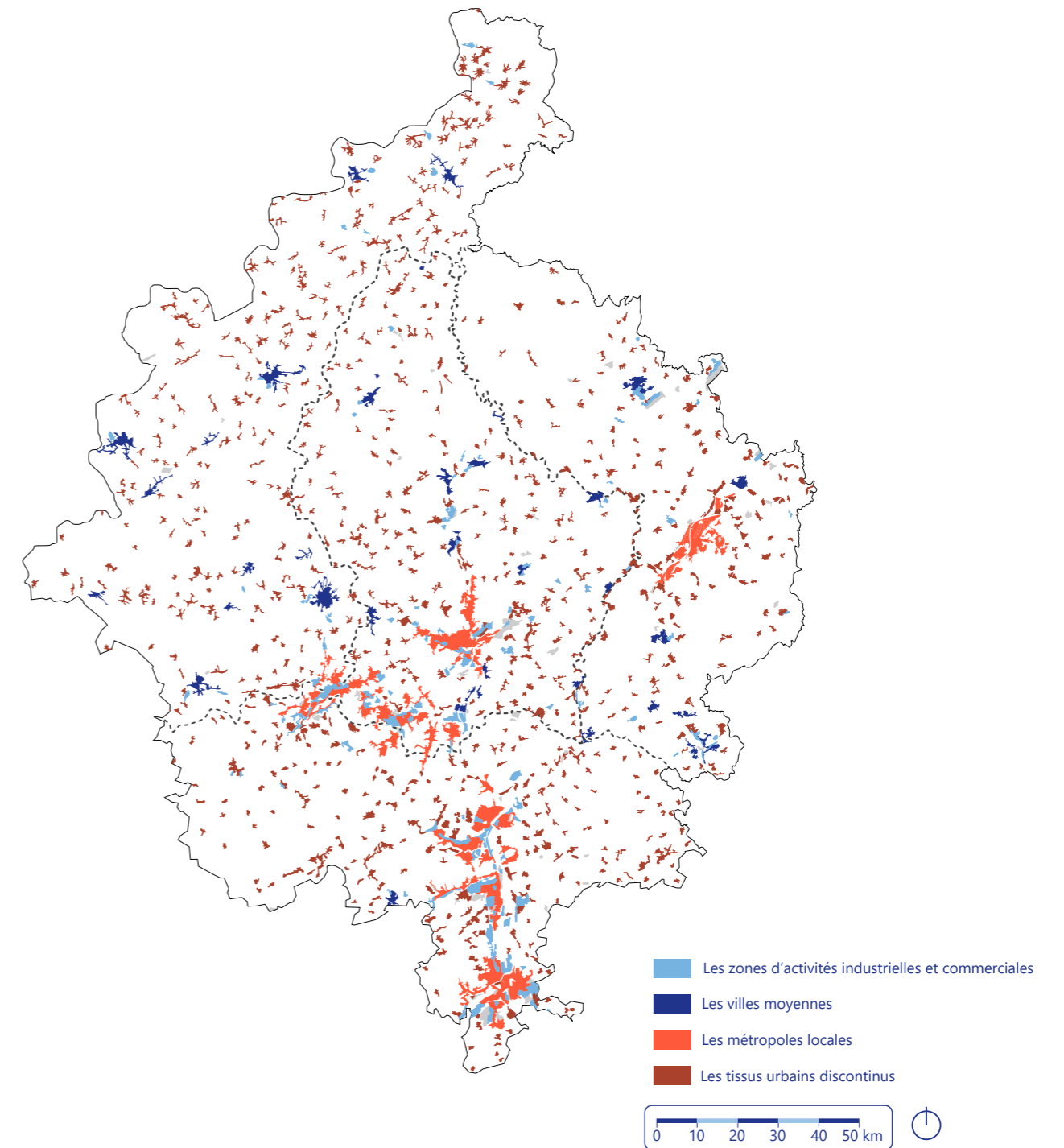
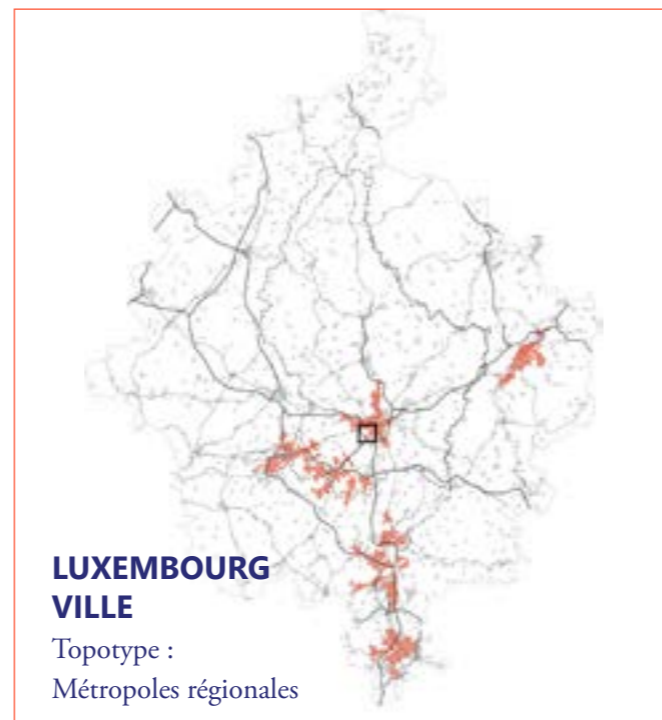
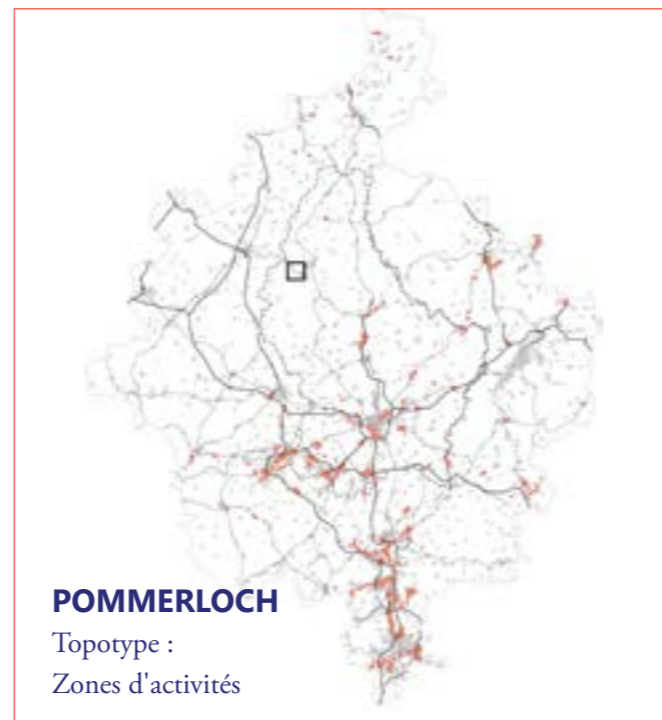
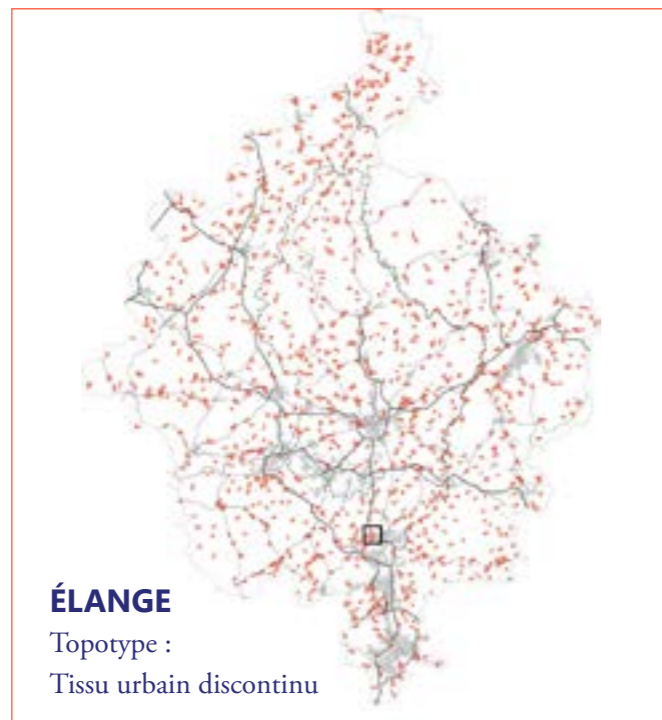
- **Représentatifs de la diversité morphologique et socioéconomique de la région fonctionnelle** (zones pavillonnaires périphériques à Elange, tissu rural et zones d'activités commerciales du nord du Luxembourg à Pommerloch, ville moyenne à Diekirch, tissu urbain métropolitain à Luxembourg-ville) ;
- **Représentatifs des problématiques transfrontalières spécifiques à la région fonctionnelle** (un site en France dans la banlieue de Thionville, un site luxembourgeois très proche de la frontière belge, et un site à Luxembourg Ville attirant de nombreux travailleurs frontaliers) ;
- **Représentatifs de lieux qui se verront fortement affectés dans leur fonctionnement par la transition écologique, et seront nécessairement appelés à se réinventer** (zone pavillonnaire frontalière d'Elange, zone commerciale isolée et « carbo-dépendante » à Pommerloch, ceinture agricole et zones d'activités de Luxembourg Ville...).

**Chacun des quatre sites retenus croise ainsi des éléments singuliers et des problématiques récurrentes à l'échelle de la région fonctionnelle, de sorte que les propositions formulées se veulent à la fois spécifiques aux terrains d'études, et pour partie extrapolables à leurs « topotypes » de référence.** Ces quatre terrains d'études pourront en outre constituer des terrains de choix pour y expérimenter des démonstrateurs de la transition en phase 3.

Enfin, chacun des sites a un périmètre de 3,3 x 3,3km de côté : ils sont ainsi potentiellement parcourables d'un bout à l'autre à pied en moins d'une heure, ou à vélo en moins d'un quart d'heure, en cohérence avec notre logique de recentrement des aires de vie sur une échelle de proximité.

De manière plus symbolique, ils mesurent chacun près de 11km<sup>2</sup>, soit un millième de la région fonctionnelle. **Ils constituent ainsi quatre esquisses des mille projets de transition à inventer localement pour mener à bien la transition écologique de la région fonctionnelle luxembourgeoise.**

# Cartes de localisation des sites



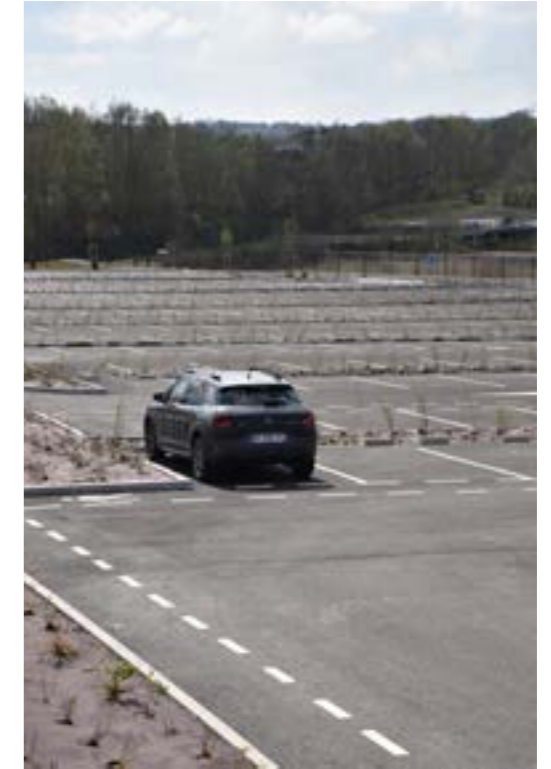
## 2.2. **ÉLANGE** : TRANSFORMER UNE ZONE PAVILLONNAIRE SATELLITE EN LIEU DE VIE HYBRIDE



## 2.2.1. UN QUARTIER SATELLITE AUX PORTES DU LUXEMBOURG

Situé en périphérie de la commune de Thionville (Moselle, région Grand-Est), le village d'Elange accueille 3600 habitants. Bordé au sud par la D14 et à l'ouest par l'A31, il est directement connecté au réseau routier majeur. Placé à moins de 30 minutes en voiture du centre de Luxembourg-Ville (hors heures de pointe), et à moins de 15km de la frontière luxembourgeoise, il compte plus de 40% d'actifs frontaliers. Il est ainsi représentatif des nombreuses zones d'habitat proches de la frontière luxembourgeoise, dont le développement a été stimulé par l'implantation de travailleurs pendulaires. Depuis plus de 30 ans, le développement de l'habitat pavillonnaire d'Elange se poursuit en extensions successives par lotissements sur les terres agricoles situées à ses franges, progressivement artificialisées. Les extensions les plus récentes sont actuellement en travaux, témoignant d'une dynamique encore à l'œuvre aujourd'hui.

Bien que jouxtant un paysage agricole, les zones pavillonnaires d'Elange n'ont que peu de relations avec ce dernier. Les voies de desserte en cul de sac accentuent le caractère introverti du quartier autant qu'elles freinent le développement des mobilités douces, en rallongeant les parcours. La faible mixité fonctionnelle et la forte présence infrastructurelle séparent les zones résidentielles, commerciales, agricoles... empêchant toute relation entre ces espaces autrement que par la voiture.





## UN QUARTIER SATELLITE AUX PORTES DU LUXEMBOURG

---



## UN QUARTIER SATELLITE AUX PORTES DU LUXEMBOURG



## UN QUARTIER SATELLITE AUX PORTES DU LUXEMBOURG

Une zone pavillonnaire tournant le dos au paysage agricole

Un plateau agricole et un maillage bocager qui se réduit

Des parcelles boisées mixtes

Des lanières qui se côtoient sans réelles relations

Une ville pavillonnaire en expansion continue au bord de l'autoroute



## 2.2.2. 2022 - 2050 - DU QUARTIER SATELLITE AU LIEU DE VIE HYBRIDE



### 2022



#### Mobilités

- Intensification des polarités commerciales de proximité : centre local de télétravail, commerces et services publics itinérants...
- Reconversion d'un bâtiment en Maison de la transition : télétravail, espace mixte, ferme ouverte, cantine commune...
- Micro-équipements de proximité
- Aménagements cyclables tactiques le long des principaux axes routiers
- Refonte du schéma de circulation et pacification des voiries secondaires au profit des mobilités actives (zone de rencontre 20 km/h)
- Intensification des usages récréatifs de la forêt (création de sentiers balisés)
- Généralisation de la limitation de la vitesse à 90 km/h sur l'ensemble de l'A31
- Création de services de ramassage scolaire par pédibus dans toutes les écoles
- Aire de stationnement pour véhicules électriques mutualisés en entrée de quartier
- Reconversion et désimperméabilisation de parkings pour de la production photovoltaïque

#### Sols

- Agriculture de proximité, jardins potagers communs
- Vergers, laboratoire d'agroforesterie
- Reboisement et diversification des essences
- Récolte des déchets, compost collectif

### 2030



#### Mobilités

- Pérennisation et extension des aménagements cyclables en site propre, cheminements piétons
- Intensification des usages récréatifs de la forêt (parcours sportifs, sentiers de découverte de la biodiversité)
- Reconnexion du réseau viaire secondaire pour les modes actifs
- Transformation de l'autoroute en axe multimodal et multifonction (limitation de la vitesse à 80 km/h, production d'énergie photovoltaïque, voies dédiées trolleybus et transport routier électrifié...)
- Reconversion et désimperméabilisation d'espaces de stationnement pour de la production photovoltaïque, mutualisation de certains parkings

#### Sols

- Zéro artificialisation brute : densification des tissus urbains déjà artificialisés (Bimby, division pavillonnaire, construction d'immeubles collectifs mixtes en matériaux biosourcés)
- Reconversion de bâtiments existants en lieux d'échanges, de vente, de transformation (économie circulaire), en fermes urbaines, en lieux de production agricole locale
- Agriculture de proximité, jardins potagers communs, mixité des cultures
- Reboisement et diversification des essences, espaces de transformation du bois (nouvelles filières locales)
- Agroforesterie
- Haies bocagères participant à de nouveaux réseaux vicinaux (division des espaces agricoles)

### 2050



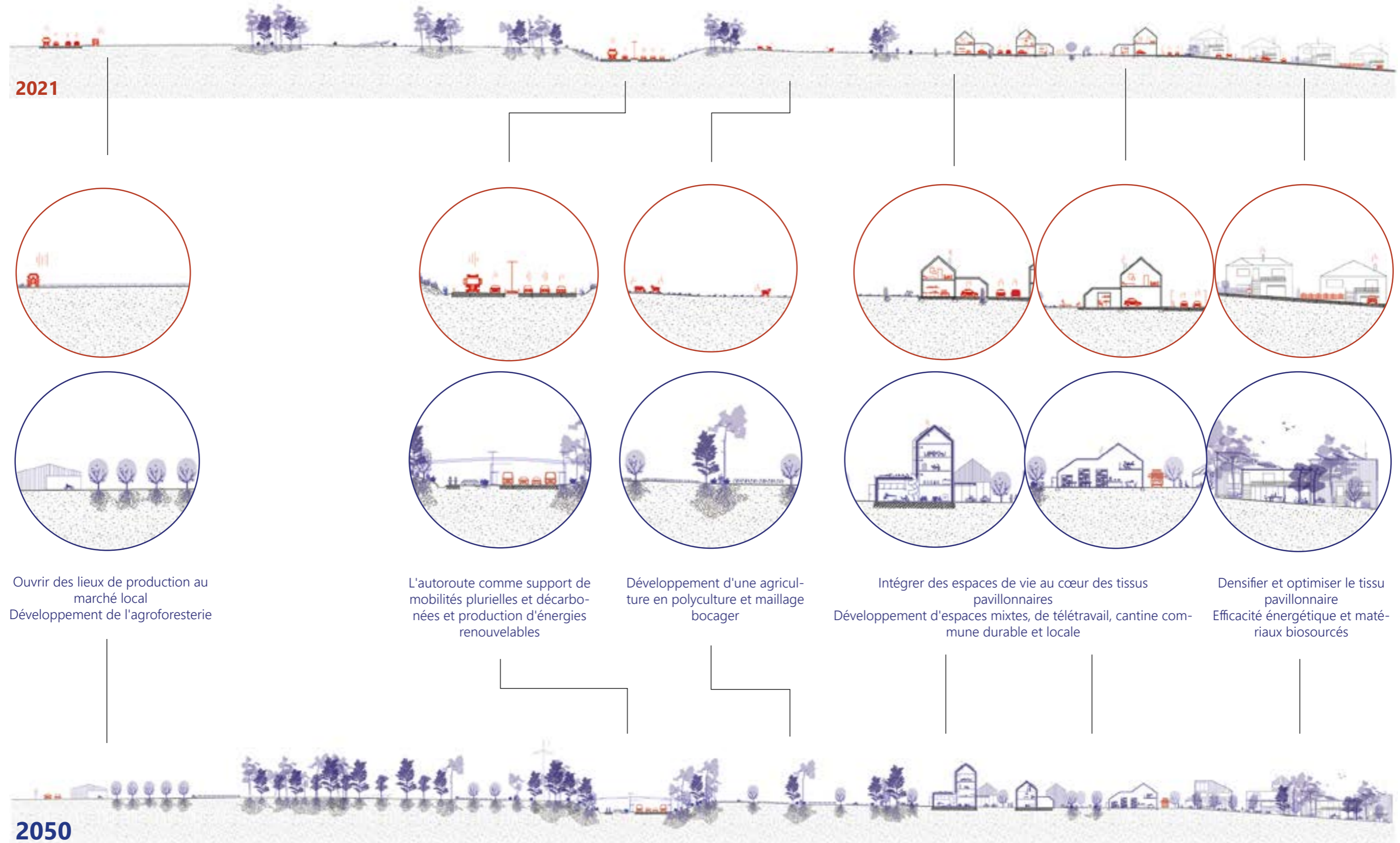
#### Mobilités

- Reconversion et désimperméabilisation d'espaces de stationnement pour de la production photovoltaïque, mutualisation de certains parkings

#### Sols

- Reconversion de bâtiments existants en lieux d'échanges, de vente, de transformation (économie circulaire), en fermes urbaines, en lieux de production agricole locale
- Agriculture de proximité, jardins potagers communs, mixité des cultures, maraichages
- Vergers, laboratoire d'agroforesterie
- Reboisement et diversification des essences, espaces de transformation du bois (nouvelles filières locales)
- Haies bocagères participant à de nouveaux réseaux vicinaux (division des espaces agricoles)
- Forêt d'arbres mixtes feuillus
- Forêt de conifères

# 2022 - 2050 - Du quartier satellite au lieu de vie hybride



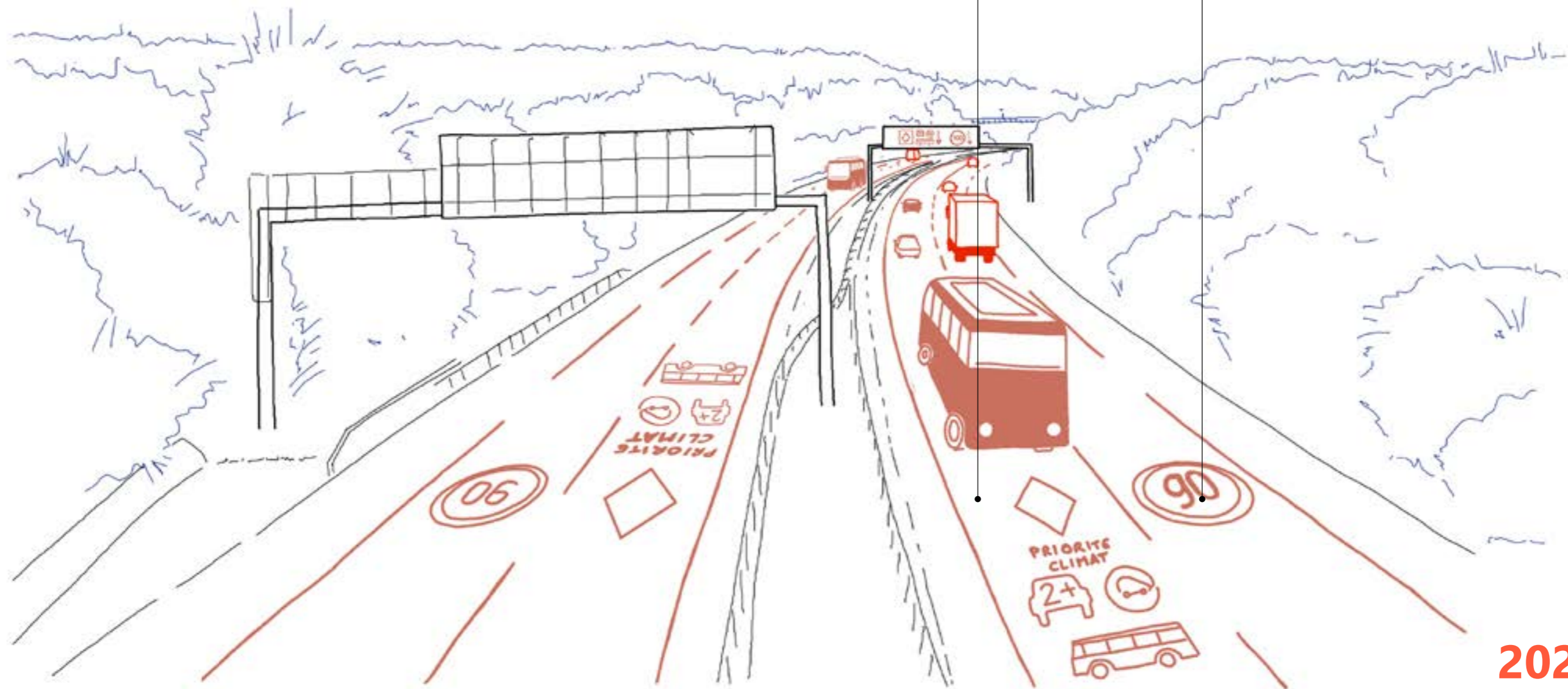
# 2022 - 2050 - Du quartier satellite au lieu de vie hybride



**2021**

Création d'une voie "Priorité Climat!" dédiée aux transports en commun et mobilités bas carbone

Réduction des vitesses maximales autorisées



**2022**

# 2022 - 2050 - Du quartier satellite au lieu de vie hybride



2021

Réseau de mobilités actives  
Autoroute vélo

Production d'énergie renouvelable et désimperméabilisation

Limitation des vitesses et réseau de transport en commun électrique

Connexion au noyau urbain

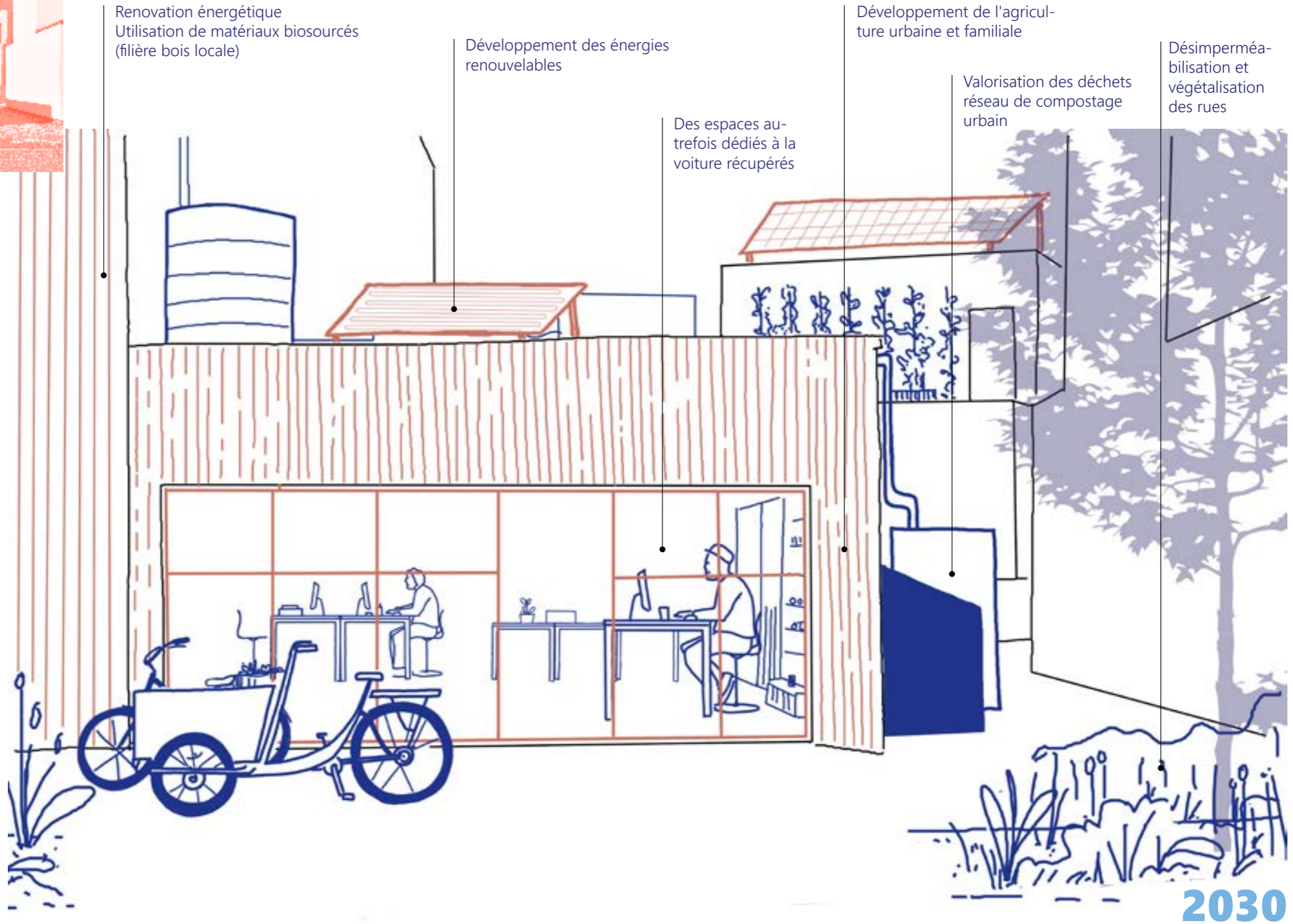
Remailler, limiter la fracture urbaine  
créer des connexions entre tissus urbains et espaces d'activités transformés



# 2022 - 2050 - Du quartier satellite au lieu de vie hybride



2021





## 2.3. POMMERLOCH : PRÉPARER L'APRÈS PÉTROLE D'UNE ZONE COMMERCIALE ISOLÉE



## 2.3.1. UNE ZONE COMMERCIALE DÉCONNECTÉE DE SON ENVIRONNEMENT PROCHE

---

Située à moins 3km de la frontière belge dans la commune de Winseler (canton de Wiltz), Pommerloch constitue l'une des plus grandes zones commerciales du nord du Luxembourg. De part et d'autre de la N15 qui rejoint Bastogne (Belgique), plusieurs stations-services se sont implantées, profitant du différentiel de coût de l'essence avec la Belgique. Plusieurs bâtiments de bureaux se sont également implantés en marge des surfaces commerciales, pour la plupart semblent rattachés à des entreprises belges.

Située sur un plateau, la zone commerciale ouvre ses façades actives sur la N15, tournant le dos au grand paysage agricole qui s'étend en contrebas. Le territoire se dévoile par les routes qui y ondulent. On découvre alors un paysage vallonné, s'étendant à perte de vue, où les territoires agricoles s'installent majoritairement en plateau et où les parcelles forestières couvrent des coteaux plus accidentés. Cette mosaïque forestière est essentiellement composée de parcelles monospécifiques densément arborées. La connexion avec les parcelles agricoles se fait de manière brutale par le biais de lisières pauvres, sans interpénétration entre les milieux. Les larges surfaces agricoles s'étendent de manière plane et relativement pauvre sans accidents, haies, fossés ou arbres. Le long des routes s'installent de manière linéaire de petits villages peu peuplés mais étonnements mixtes, principalement composés de maisons individuelles et de petits immeubles mêlant bureaux et logements collectifs.



## UNE ZONE COMMERCIALE DÉCONNECTÉE DE SON ENVIRONNEMENT PROCHE



## UNE ZONE COMMERCIALE DÉCONNECTÉE DE SON ENVIRONNEMENT PROCHE



## UNE ZONE COMMERCIALE DÉCONNECTÉE DE SON ENVIRONNEMENT PROCHE





## 2.3.2. 2022 - 2050 - RECONNECTER LA STATION OFFSHORE À SON HINTERLAND

**2022**



### Mobilités

- Renforcement des centralités locales : centre local de télétravail, commerces et services publics itinérants...
- Micro-équipements de proximité (théâtre en plein air, terrain de basket...)
- Aménagements cyclables tactiques le long des principaux axes routiers, abaissement de la vitesse à 80 km/h sur le réseau structurant hors agglomération
- Refonte du schéma de circulation et pacification des voiries secondaires au profit des mobilités actives (zone de rencontre 20 km/h)
- Intensification des cheminements piétons (mise en valeur du grand paysage et création de sentiers balisés)
- Création de services de ramassage scolaire par pédibus dans toutes les écoles
- Reconversion et désimperméabilisation de parkings pour de la production photovoltaïque

### Sols

- Reconversion de bâtiments existants en lieux de vente de produits locaux (coopératives), en fermes ouvertes, en lieux de récolte des déchets organiques
- Reboisement et diversification des essences
- Récolte des déchets, compost collectif
- Arbres existants

**2030**



### Mobilités

- Reconversion de voiries au profit d'usages de proximité
- Pérennisation et extension des aménagements cyclables en site propre
- Reconnexion du réseau viaire secondaire pour les modes actifs
- Reconversion et désimperméabilisation de parkings pour de la production photovoltaïque, mutualisation de certains parkings

### Sols

- Zéro artificialisation brute : densification des tissus urbains déjà artificialisés
- Reconversion de bâtiments existants en lieux de vente, de production agricole locale, en fermes ouvertes et ateliers
- Agriculture de proximité, maraîchage, mixité des cultures, agroforesterie
- Reboisement et diversification des essences, espaces de transformation du bois (nouvelles filières locales)
- Haies bocagères participant à de nouveaux réseaux vicinaux (division des espaces agricoles)
- Vergers
- Reboisement des vallées

**2050**



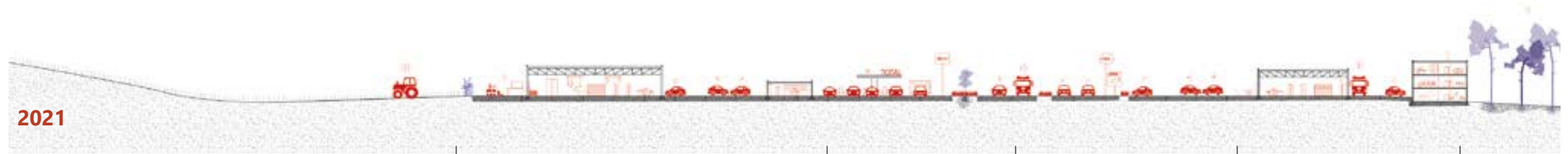
### Mobilités

- Reconversion et désimperméabilisation de parkings pour de la production photovoltaïque, mutualisation de certains parkings

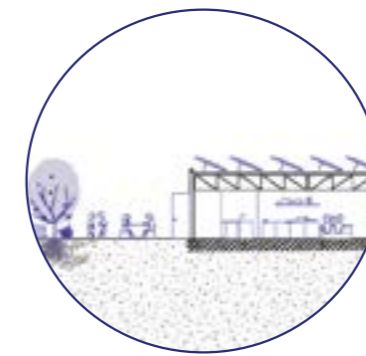
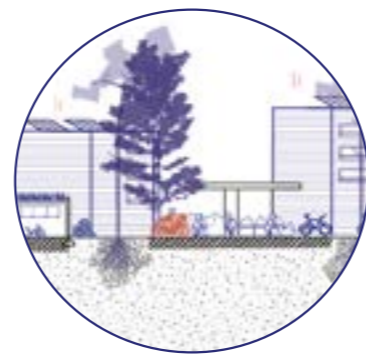
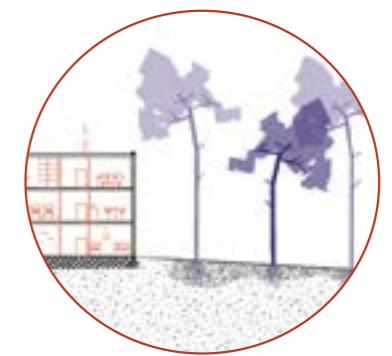
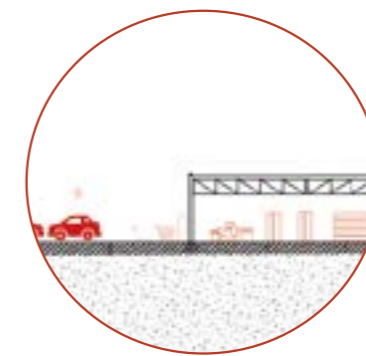
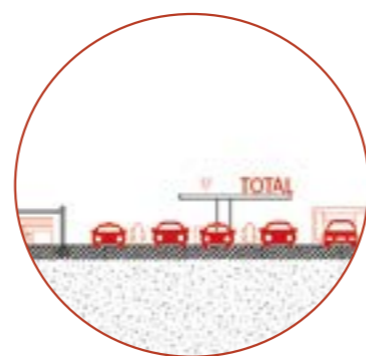
### Sols

- Reconversion de bâtiments existants en lieux de vente, de production agricole locale, en fermes ouvertes et ateliers
- Agriculture de proximité, maraîchage, mixité des cultures, agroforesterie
- Vergers
- Reboisement et diversification des essences, espaces de transformation du bois (nouvelles filières locales)
- Haies bocagères participant à de nouveaux réseaux vicinaux (division des espaces agricoles)
- Forêt d'arbres mixtes
- Forêt d'épicéas

# 2022 - 2050 - Reconnecter la station offshore à son hinterland



2021



Favoriser les connexions entre paysage agricole et zones d'activités  
Réseau vicinal public et redéploiement d'un maillage bocager

Vers une mixité programmatique  
Circularité: compost collectif, centre de méthanisation, etc.

Investir sur les mobilités actives et durables  
Réduire les espaces de voiries imperméabilisés

Favoriser des espaces collectifs  
Mutualisation des moyens de transformation, main d'œuvre, outils, etc.

Une sylviculture irrégulière exploitée et transformée localement

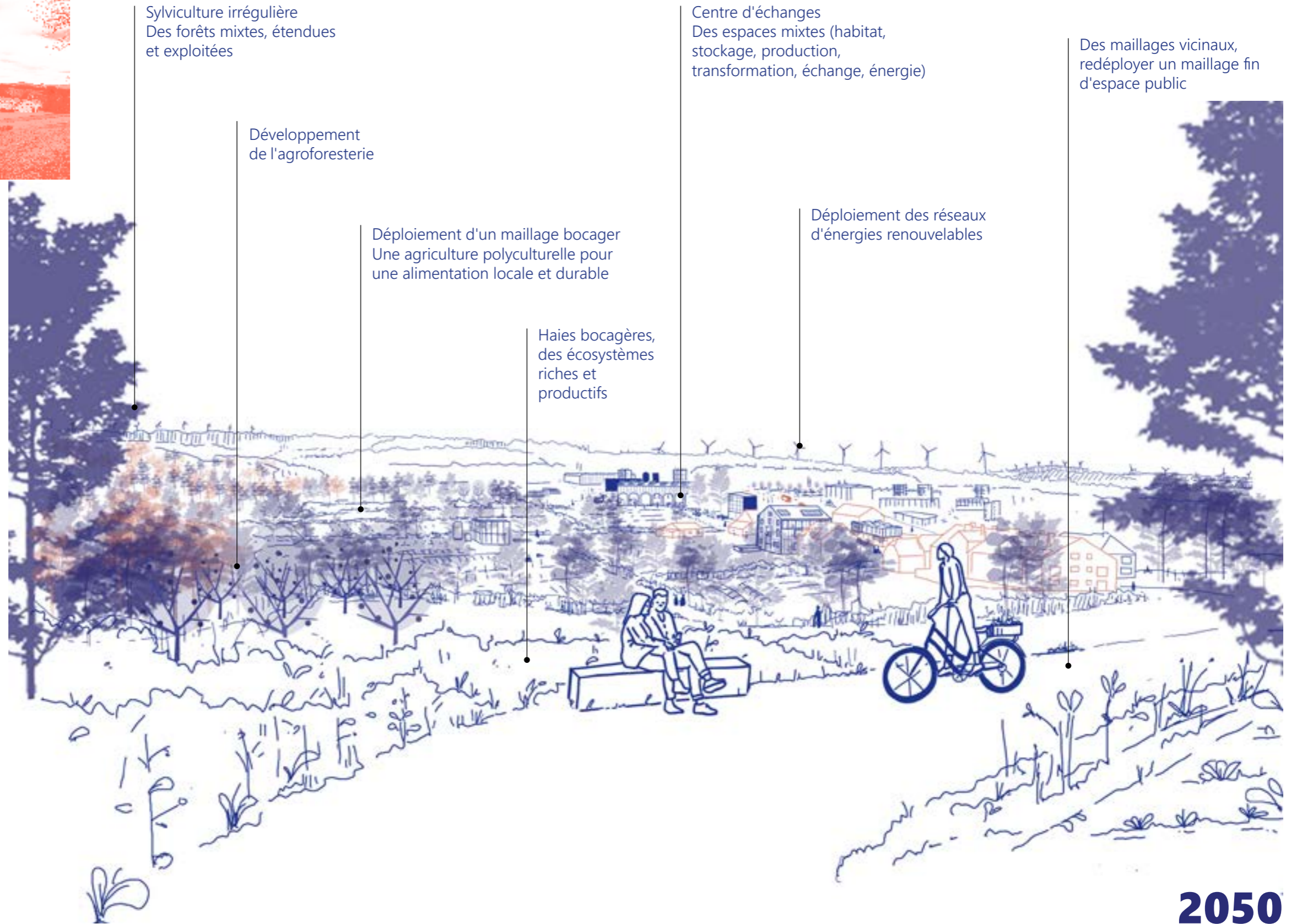


2050

# 2022 - 2050 - Reconnecter la station offshore à son hinterland



**2021**



**2050**



## 2.4. DIEKIRCH : IMAGINER LA VALLÉE PRODUCTIVE DE DEMAIN



## 2.4.1. UNE VALLÉE PRODUCTIVE STRUCTURÉE AUTOUR DE L'AUTOMOBILE

---

Septième ville Luxembourgeoise avec ses 7000 habitants, la ville de Diekirch se situe le long de la vallée de la Sûre. Elle se déploie de manière linéaire le long de cette vallée et des axes infrastructurels qui la bordent. L'entrée Sud de la ville par la route d'Ettelbruck est caractéristique de cet urbanisme en lanières où se côtoient route nationale, chemin de fer et rue industrielle. Le long de cet axe s'est développé une zone d'activité où cohabitent de nombreux garages, commerces automobiles, commerces de matériaux, cimetières, pavillons ainsi que des terrains agricoles. La voiture y est reine : de grandes surfaces de parking imperméabilisent les sols et aucun espace n'est accueillant pour des mobilités douces. Une absence de planification semble générer cette étrange cohabitation qui apparaît pourtant déjà comme une mixité programmatique, et comme les prémices d'une relation à retrouver entre les territoires agricoles et le noyau urbain. La ville se déployant dans la vallée, la présence de l'agriculture et des forêts se ressent partout comme un fond de scène à la vie urbaine. On y observe un territoire agricole où subsistent quelques lanières bocagères qui soulignent les coteaux.

Au cœur de la vallée la ville est traversée par un parc linéaire qui longe la Sûre. Le parc est ponctué d'équipements et d'espaces de camping et bordé par de nombreux logements collectifs en cours de construction.



## UNE VALLÉE PRODUCTIVE STRUCTURÉE AUTOUR DE L'AUTOMOBILE

---



# UNE VALLÉE PRODUCTIVE STRUCTURÉE AUTOUR DE L'AUTOMOBILE



Un paysage agricole et forestier de proximité

Un urbanisme linéaire et infrastructurelle (route nationale - voie ferrée - route industrielle)

Un espace peu accueillant aux mobilités douces

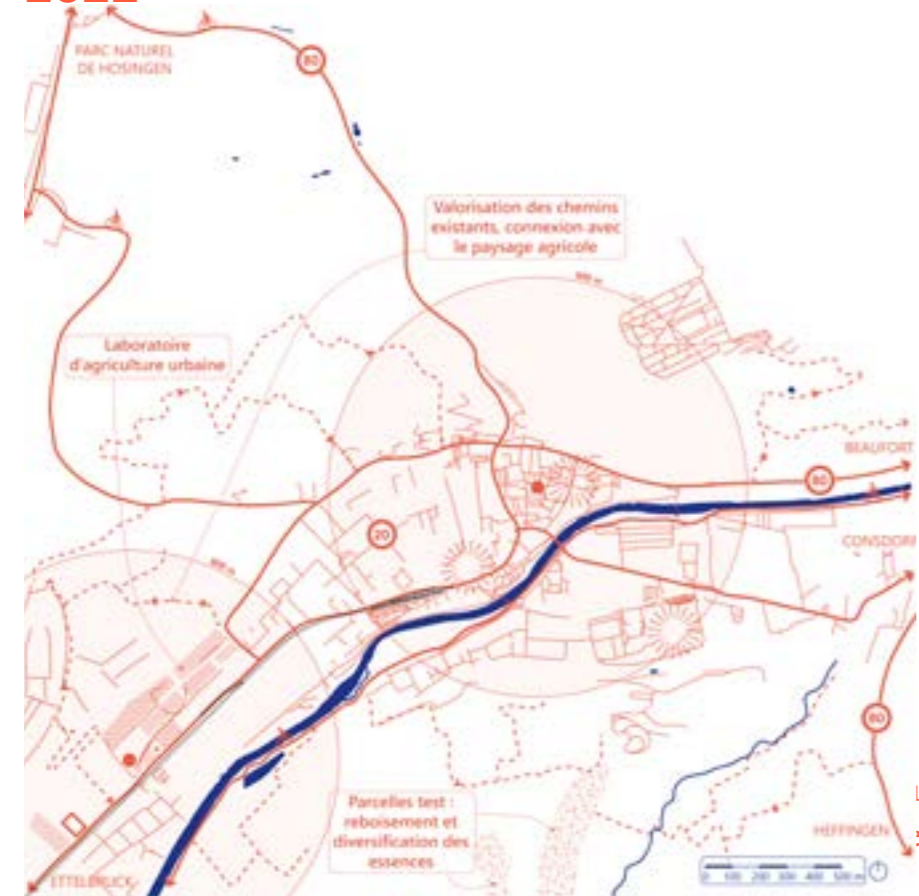
zone industrielle et économique dédiée à la voiture

Un talus boisé 'cachant' un large plateau agricole

## 2.4.2. 2022 - 2050 - IMAGINER LA VALLÉE PRODUCTIVE DE DEMAIN



**2022**



### Mobilités

- Renforcement des centralités locales : centre local de télétravail, commerces et services publics itinérants...
- Aménagements cyclables tactiques le long des principaux axes routiers, abaissement de la vitesse à 80 km/h sur le réseau structurant hors agglomération
- Refonte du schéma de circulation et pacification des voiries secondaires au profit des mobilités actives (zone de rencontre 20 km/h)
- Intensification des cheminements piétons (mise en valeur des sentiers existants et création de sentiers balisés)
- Création de services de ramassage scolaire par pédibus dans toutes les écoles

### Sols

- Reconversion de bâtiments existants en lieux de vente locaux (coopératives, épiceries)
- Laboratoire d'agriculture urbaine, maraîchage
- Reboisement et diversification des essences
- Récolte des déchets, compost collectif
- Haies bocagères plantées le long des chemins, récupération des eaux

**2030**



### Mobilités

- Micro-équipements de proximité (lieux culturels, sportifs...)
- Renforcement de la desserte ferroviaire (trains de nuit, fret...)
- Pérennisation et extension des aménagements cyclables en site propre
- Reconnexion du réseau viaire secondaire pour les modes actifs
- Intensification des cheminements piétons

### Sols

- Zéro artificialisation brute : densification des tissus urbains déjà artificialisés
- Reconversion de bâtiments existants en lieux de vente locaux (coopératives, épicerie), en lieux d'échanges, de transformation (économie circulaire), en lieux de production agricole locale, en fermes ouvertes
- Agriculture de proximité, maraîchage, jardins potagers communs, mixité des cultures
- Reboisement et diversification des essences, espaces de transformation du bois (nouvelles filières locales)
- Haies bocagères participant à de nouveaux réseaux vicinaux (division des espaces agricoles), en lien avec de l'agroforesterie
- Vergers, laboratoire d'agroforesterie

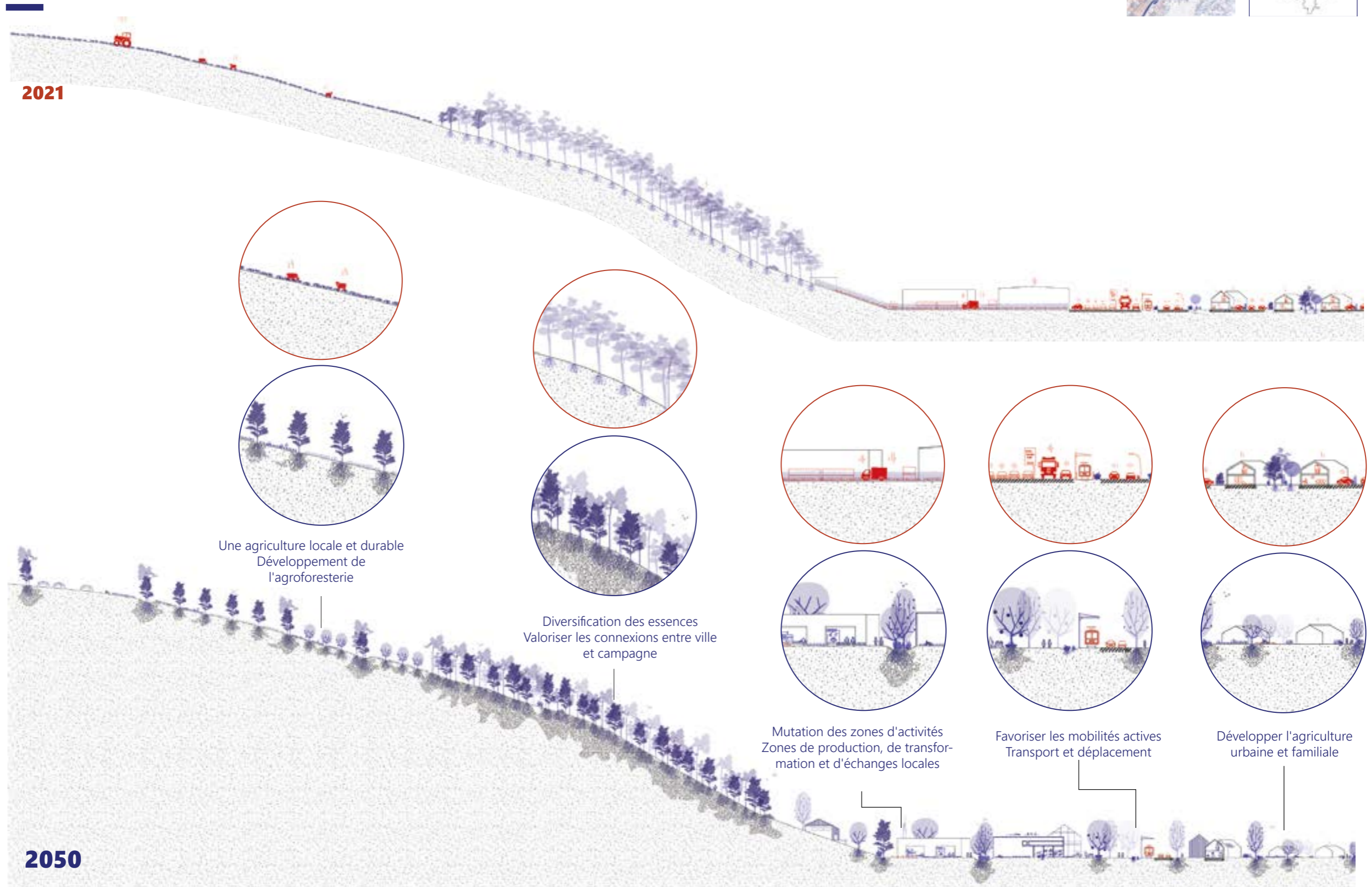
**2050**



### Sols

- Agriculture de proximité, maraîchage, jardins potagers communs, mixité des cultures
- Vergers
- Reboisement et diversification des essences, espaces de transformation du bois (nouvelles filières locales)
- Haies bocagères participant à de nouveaux réseaux vicinaux (division des espaces agricoles), en lien avec de l'agroforesterie
- Forêt d'arbres mixtes
- Forêt caducée

# 2022 - 2050 - Imaginer la vallée productive de demain



# 2022 - 2050 - Imaginer la vallée productive de demain



**2021**

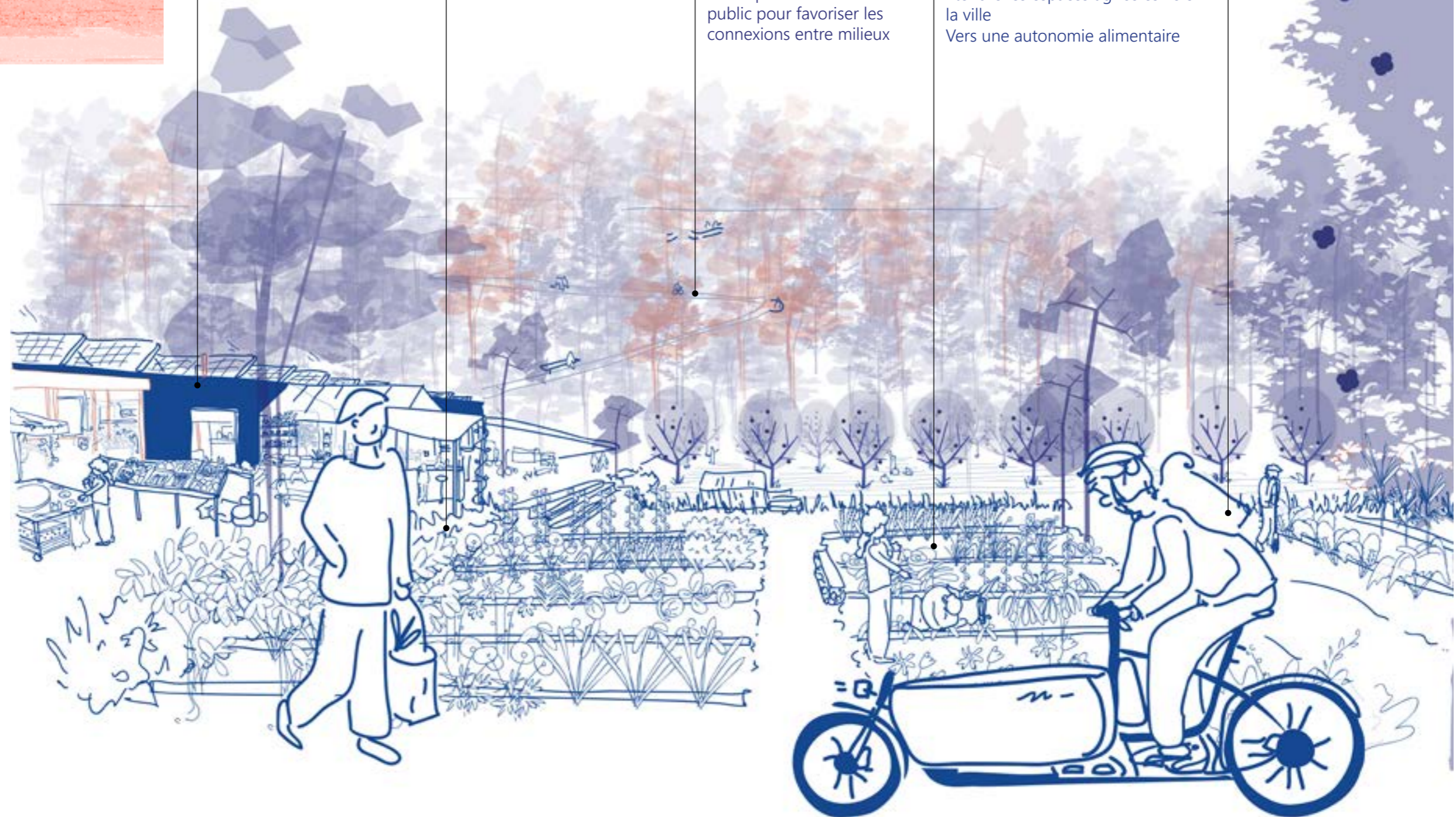
Espaces de transformation et d'échanges de produits locaux

Des fermes ouvertes comme espace de rencontre, de dynamiques sociales

Syviculture irrégulière  
Des espaces ouverts au public pour favoriser les connexions entre milieux

Des espaces de production agricole  
Etendre les espaces agricoles vers la ville  
Vers une autonomie alimentaire

Favoriser les mobilités actives  
Des modes de transport écologiques



**2050**

## 2.5. LUXEMBOURG VILLE : RENFORCER L'AUTOSUFFISANCE DE LA VILLE CAPITALE





## 2.5.1. VOYAGE AU CŒUR DE L'ANTHROPOCÈNE

---

Située au confluent de l'Alzette et de la Pétrusse, Luxembourg ville est la plus grande ville du pays avec plus de 200 000 habitants pour la région métropolitaine. Capitale du Grand-Duché de Luxembourg, elle offre un bassin d'emploi de premier plan grâce à la place qu'occupe la ville sur les marchés financiers, ainsi qu'aux nombreuses banques et aux sièges d'institutions européennes qui y sont implantés.

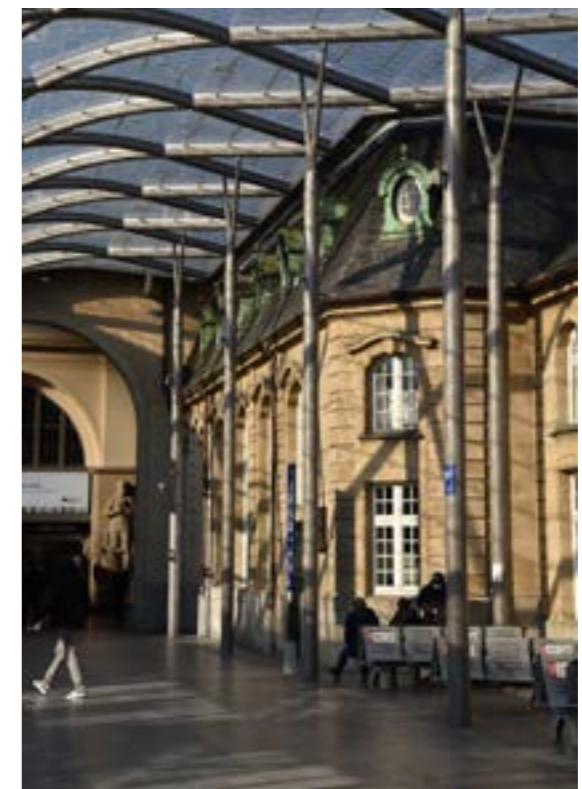
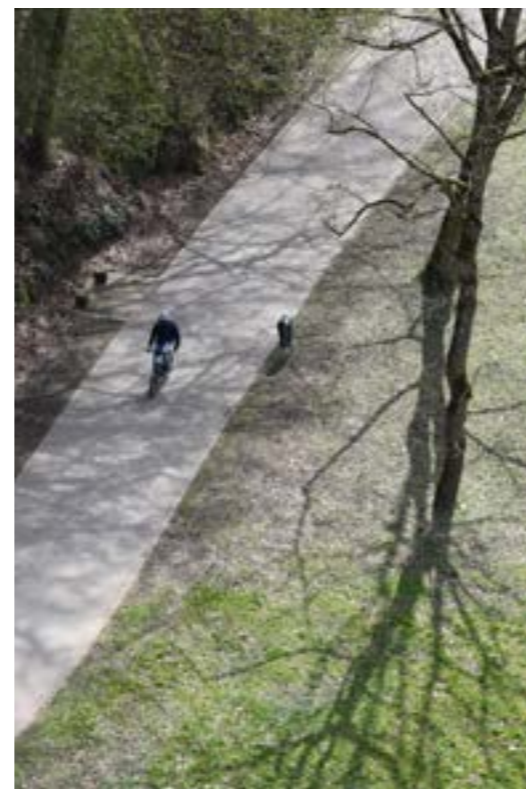
La ville est traversée par de larges avenues majoritairement dédiées aux transports motorisés, irriguant le réseau autoroutier qui converge vers la capitale. Le réseau ferré la relie aussi efficacement aux régions transfrontalières allemande, belge et française. Le récent projet de tramway connecte efficacement la gare de Luxembourg aux principales polarités de la capitale (quartier de gare, ville haute, plateau du Kirchberg) et permettra prochainement de relier l'aéroport de Luxembourg-Findel au nord-est du Kirchberg et le quartier en plein développement de la Cloche d'Or au sud de la ville. La ville bénéficie en outre d'un puissant réseau de bus urbains pour desservir ses différents quartiers, ainsi que d'un réseau de bus express longue

distance la connectant au reste du Luxembourg et à ses régions frontalières. La pratique du vélo y reste en revanche assez marginale, avec une part modale faible et un réseau cyclable encore relativement peu développé malgré certaines extensions récentes.

Relativement dense et peu étalée, Luxembourg ville poursuit néanmoins son extension sur le territoire agricole qui l'entoure. Ce territoire agricole se déploie majoritairement au sud, où il est traversé par les grandes infrastructures routières et ferroviaires. L'expansion urbaine fabrique des cohabitations étonnantes entre grands immeubles de bureaux verticaux et larges étendues agricoles. Ces espaces agricoles sont constitués de grandes parcelles remembrées, interrompues par quelques parcelles forestières relativement éparses. A l'inverse, au nord de la ville, le patrimoine forestier demeure riche. Deux larges bois - le Bambesch et le Waldhof - sont connectés au travers de la ville par un réseau boisé longeant les vallées, fabriquant des espaces publics particulièrement paisibles en plein cœur de la capitale.

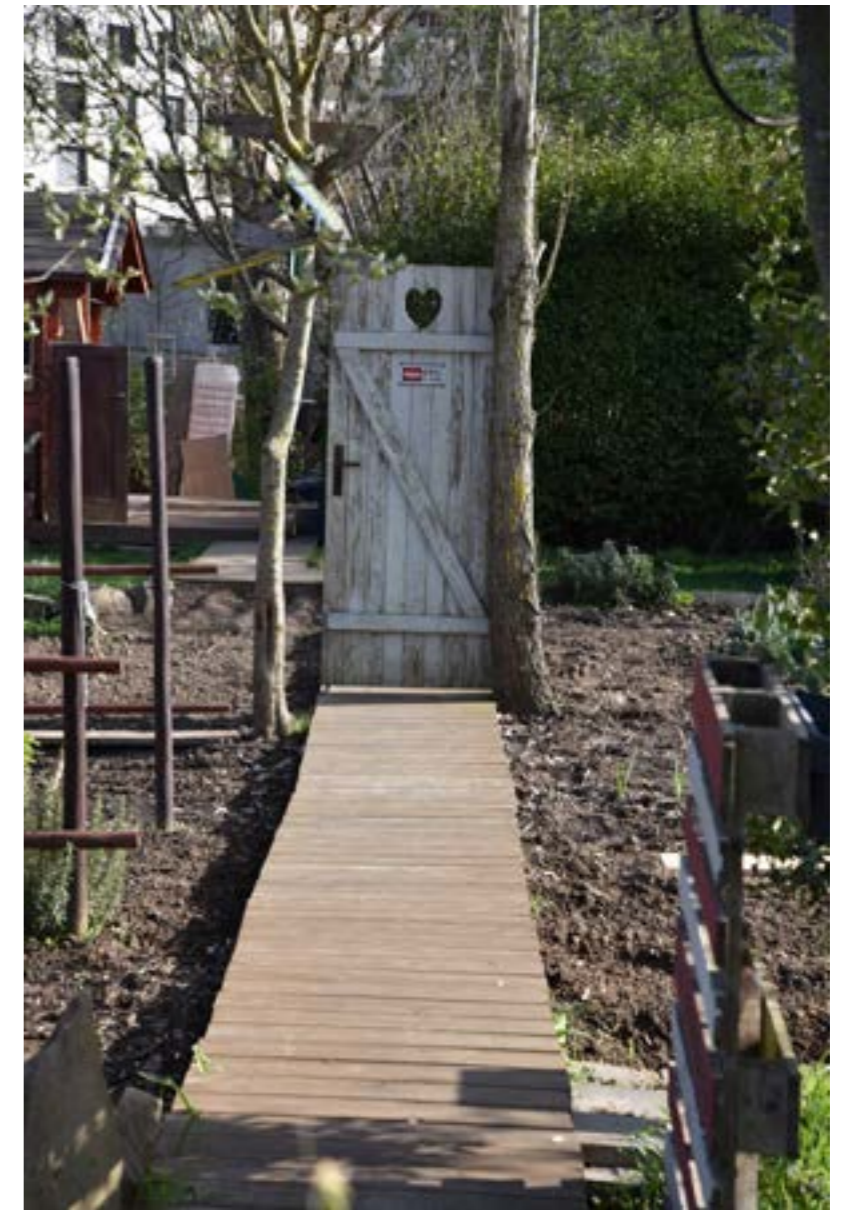


## VOYAGE AU CŒUR DE L'ANTHROPOCÈNE



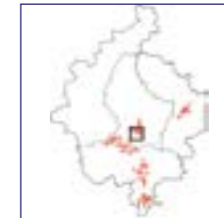
## VOYAGE AU CŒUR DE L'ANTHROPOCÈNE

---



## VOYAGE AU CŒUR DE L'ANTHROPOCÈNE





## 2.5.2. 2022 - 2050 - RENFORCER L'AUTOSUFFISANCE DE LA VILLE CAPITALE

**2022**



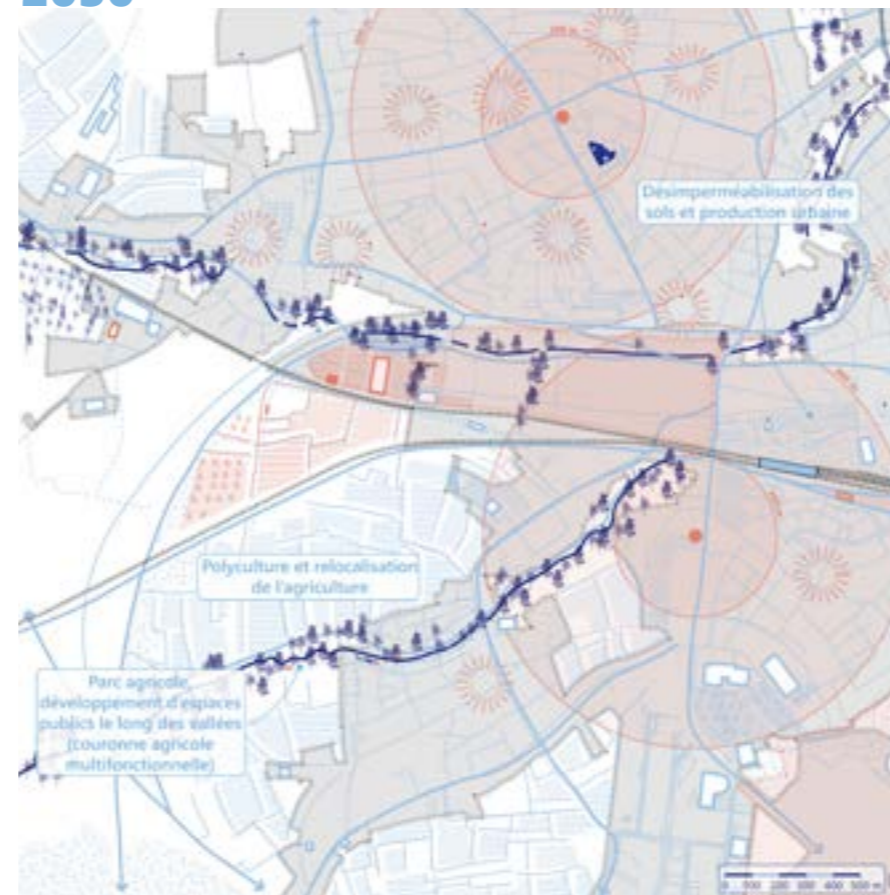
### Mobilités

- Renforcement des centralités locales : centre local de télétravail, commerces et services publics itinérants...
- Micro-équipements de proximité
- Aménagements cyclables tactiques le long des principaux axes routiers
- Refonte du schéma de circulation et pacification des voiries secondaires au profit des mobilités actives (zone de rencontre 20 km/h)
- Intensification des cheminements piétons
- Création de services de ramassage scolaire par pédibus dans toutes les écoles

### Sols

- Reconversion de bâtiments existants en lieux de vente locaux (coopératives, épicerie)
- Laboratoire d'agriculture urbaine
- Vergers, laboratoire d'agroforesterie
- Mise en place d'un réseau de compostage, récolte des déchets
- Haies bocagères participant à de nouveaux réseaux vicinaux (division des espaces agricoles)
- Territoire en développement : espace test de modes de production alternatifs

**2030**



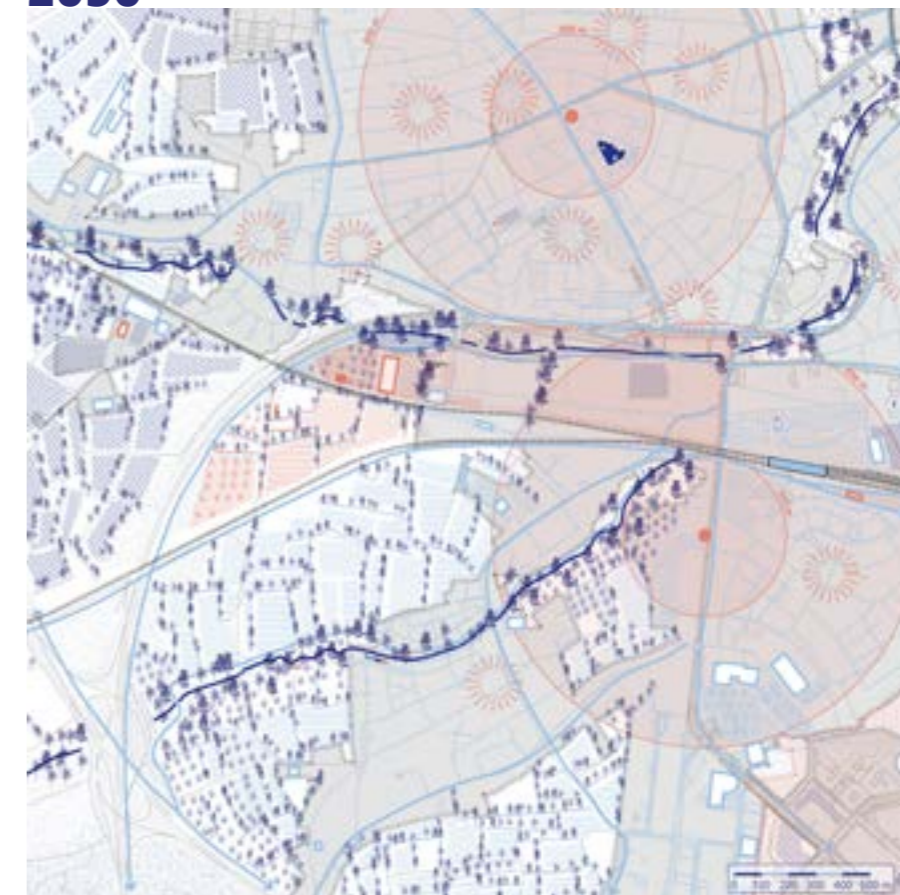
### Mobilités

- Renforcement de la desserte ferroviaire (trains de nuit, fret...)
- Pérennisation et extension des aménagements cyclables en site propre
- Transformation de voiries et de parkings au profit d'usages de proximité

### Sols

- Zéro artificialisation brute : intensification des usages, polyvalence programmatique et densification des tissus urbains déjà artificialisés
- Reconversion de bâtiments existants en espaces multifonctionnels (lieux d'échanges, de vente, de transformation (économie circulaire), fermes urbaines, fermes ouvertes, lieux de production agricole locale, lieux culturels)
- Agriculture de proximité, maraîchage, jardins potagers communs, mixité des cultures
- Reboisement et diversification des essences
- Vergers, laboratoire d'agroforesterie
- Haies bocagères participant à de nouveaux réseaux vicinaux (division des espaces agricoles), en lien avec de l'agroforesterie
- Reboisement des vallées

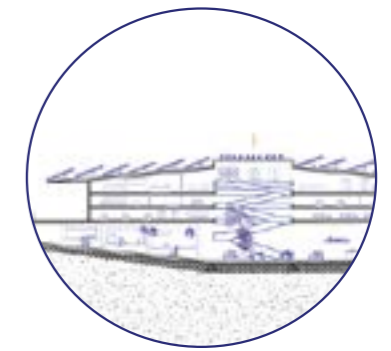
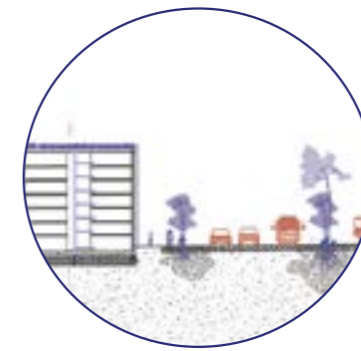
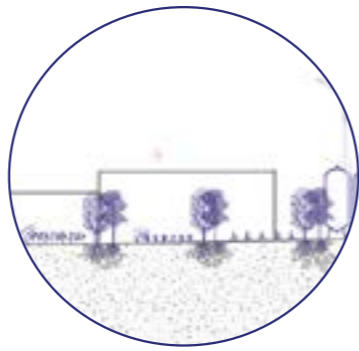
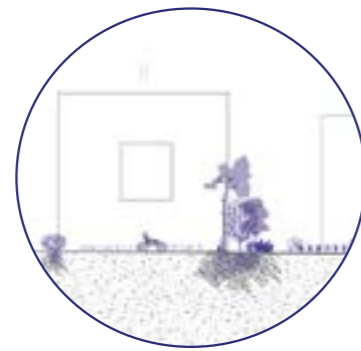
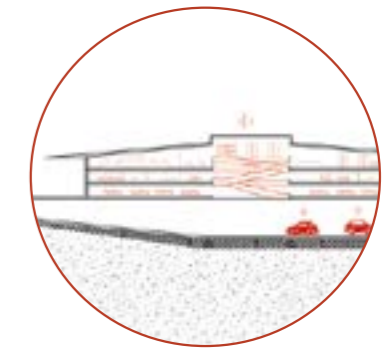
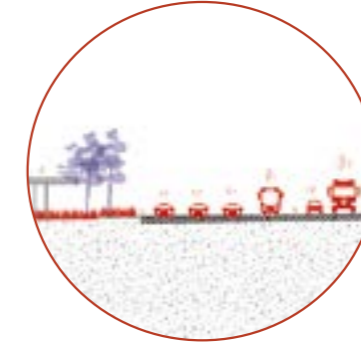
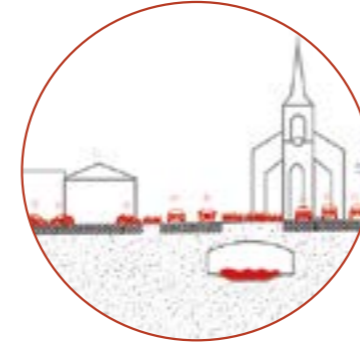
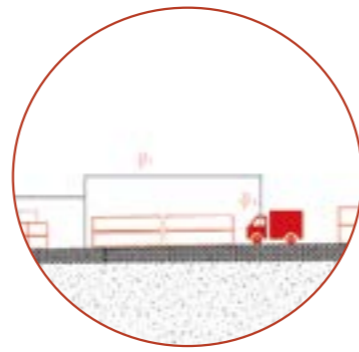
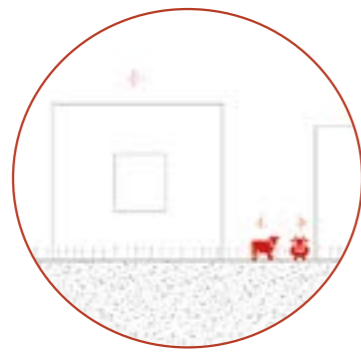
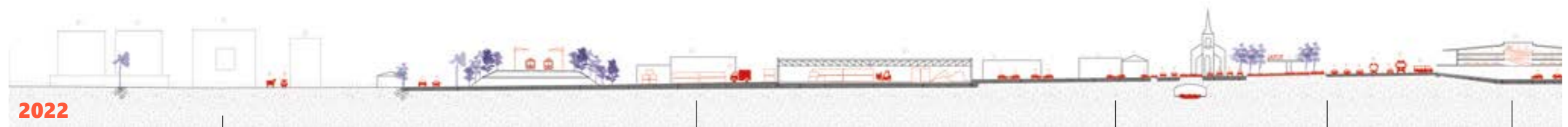
**2050**



### Sols

- Agriculture urbaine, jardins potagers communs, mixité des cultures, maraîchages
- Reboisement et diversification des essences
- Vergers
- Haies bocagères participant à de nouveaux réseaux vicinaux (division des espaces agricoles)
- Boisements monospécifiques feuillus
- Boisements strates arbusives

# 2022 - 2050 - Renforcer l'autosuffisance de la ville capitale



Parc agricole, une agriculture locale et durable ouverte sur la ville

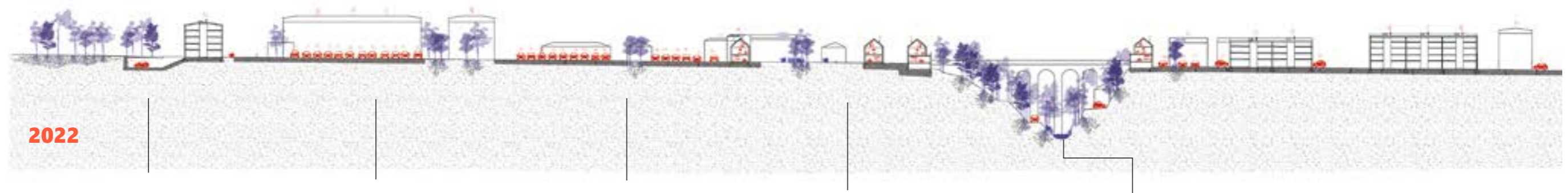
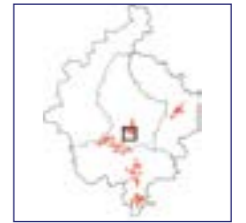
Couronne nourricière, circularité entre espaces urbains et agricoles

Des vallées réouvertes comme espace public frais, refuge pour la biodiversité

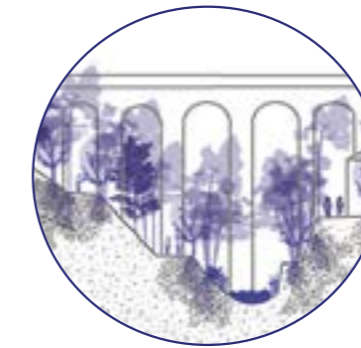
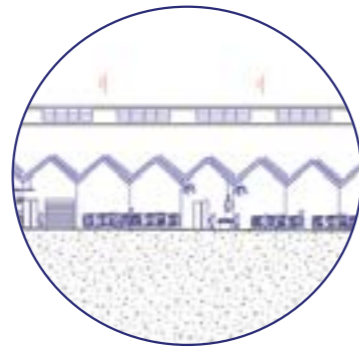
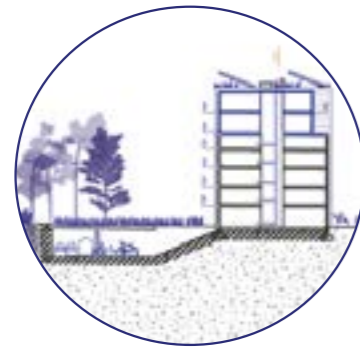
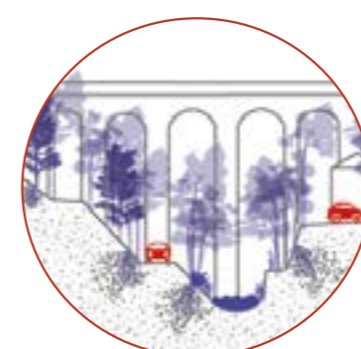
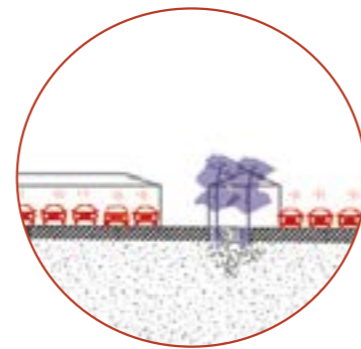
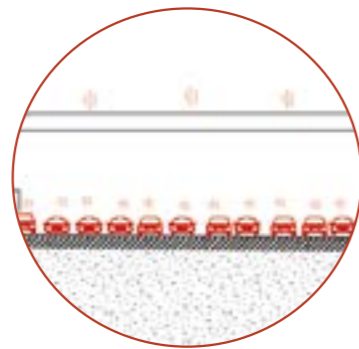
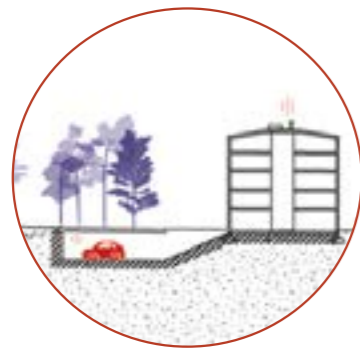
Des espaces autoroutiers apaisés



# 2022 - 2050 - Renforcer l'autosuffisance de la ville capitale



2022



Densifier la ville  
Des espaces dédiés à  
l'automobile réinvestis

Des réseaux de transformation et  
d'échanges locaux

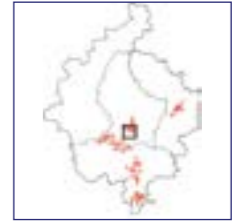
Valoriser l'agriculture urbaine  
Développer un réseau de  
collecte des déchets organiques

Densifier la ville sur elle-même  
Utilisation de matériaux  
biosourcés (filière bois locale)

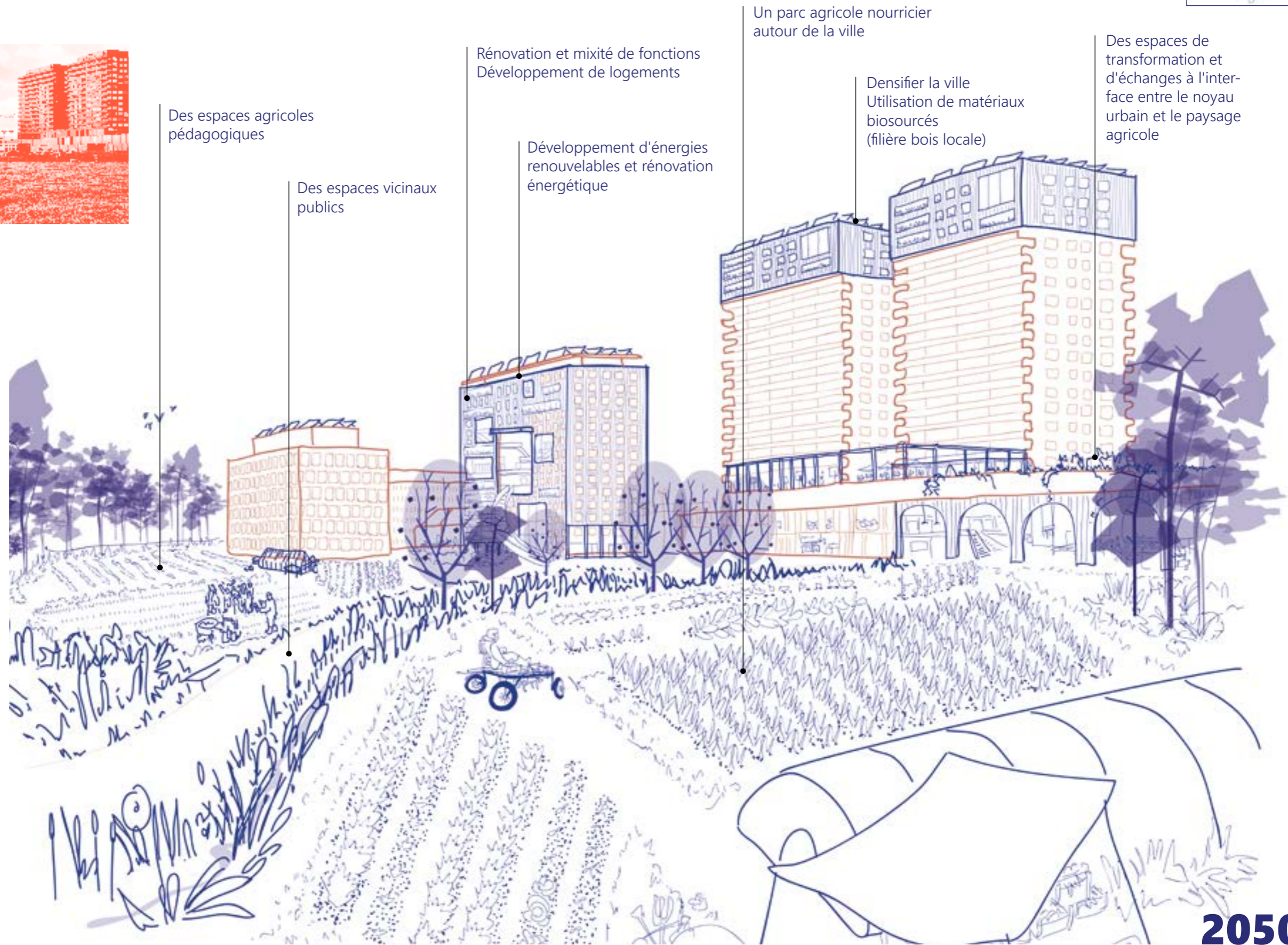


2050

# 2022 - 2050 - Renforcer l'autosuffisance de la ville capitale



**2021**



**2050**



---

# 3. Stratégie de réaffectation des terres à l'échelle de la région fonctionnelle et du Grand-Duché de Luxembourg

## 3.1. INTRODUCTION

**Permise par la relocalisation des productions agricoles et la modification des régimes alimentaires (régime Afterres 2050), la réaffectation des terres est une stratégie puissante de réduction de l’empreinte carbone et de l’empreinte écologique de la région fonctionnelle et du Grand-Duché de Luxembourg.**

Un scénario possible, parmi d’autres, est la réduction de la surface des terres arables en agriculture conventionnelle et des prairies au profit de celle des systèmes agroforestiers et des forêts. Il est établi sur la base d’une croissance de la population qui passerait de 2 006 017 personnes en 2021 à 2 100 667 en 2030 puis 2 289 966 en 2050 dans la région fonctionnelle, et de 619 512 personnes en 2021 à 722 735 en 2030 et 929 181 en 2050 dans le Grand-Duché. Les quantités de CO<sub>2</sub> séquestrées ont été calculées à partir des taux de fixation du carbone par hectare et par an rapportées dans la littérature publiée depuis l’année 2000, et obtenues dans des écosystèmes et des agrosystèmes situés au Luxembourg, en Belgique, en Allemagne et en France. Ces valeurs de taux de fixation du carbone sont des valeurs moyennes entachées d’incertitude. L’intensité de la séquestration du carbone varie en effet avec l’âge des couverts végétaux, les pratiques de gestion, les aléas climatiques et sanitaires et les types de sols principalement.

Le scénario Afterres 2050 adopté conduit à évaluer à 0,986 ha et 0,751 ha les surfaces de terres arables et de prairies respectivement nécessaires à l’alimentation d’une personne moyenne. Compte tenu de l’évolution des populations, on peut établir comme suit un scénario d’évolution de l’affectation des terres :

## 3.2. ÉVOLUTION DES SURFACES RETENUES

Le scénario Afterres 2050 adopté conduit à évaluer à 0,986 ha et 0,751 ha les surfaces de terres arables et de prairies respectivement nécessaires à l'alimentation d'une personne moyenne. Compte tenu de l'évolution des populations, on peut établir comme suit un scénario d'évolution de l'affectation des terres :

Affectation	Région fonctionnelle			Luxembourg		
	2021	2030	2050	2021	2030	2050
Terres arables (TA)	348068	296287	215196	93691	79753	57926
TA -> Systèmes agroforestiers	0	51781	71733	0	13938	19308
TA -> Forêts mixtes	0	0	61139	0	0	16457
<b>Sous-total</b>	<b>348068</b>	<b>348068</b>	<b>348068</b>	<b>93691</b>	<b>93691</b>	<b>93691</b>
Prairies (P)	211503	93183	47935	39761	17517	9011
P -> Systèmes agroforestiers	0	118320	143805	0	22244	27035
P -> Forêts mixtes	0	0	19763	0	0	3715
<b>Sous-total</b>	<b>211503</b>	<b>211503</b>	<b>211503</b>	<b>39761</b>	<b>39761</b>	<b>39761</b>
Forêts de feuillus	205809	0	0	54721	0	0
Forêts de conifères	83985	0	0	12877	0	0
Forêts mixtes	113944	403738	403738	25168	92766	92766
<b>Sous-total</b>	<b>403738</b>	<b>403738</b>	<b>403738</b>	<b>92766</b>	<b>92766</b>	<b>92766</b>
<b>TOTAL</b>	<b>963309</b>	<b>963309</b>	<b>963309</b>	<b>226218</b>	<b>226218</b>	<b>226218</b>

Evolution de l'affectation des terres par type d'usage agricole et forestier dans la région fonctionnelle et dans le Grand-Duché du Luxembourg

### 3.3. TAUX MOYENS DE SÉQUESTRATION DANS L'ENSEMBLE SOL + VÉGÉTATION RETENUS

#### Séquestration du carbone dans les terres arables

La synthèse de Pellerin et al (2020) indique que la plupart des sols cultivés perdent du carbone, en moyenne au rythme de 170 kgC/ha/an.

Valeur retenue : -0,17 tC/ha/an

#### Séquestration du carbone dans les prairies

La synthèse de Pellerin et al (2020) signale l'absence de données sur les sols de France mais s'appuie sur des données concernant la Belgique et la Grande Bretagne. Les auteurs donnent la valeur de référence de 110 kgC/ha/an. On considère que le flux stabilisé dans la végétation est négligeable.

Valeur retenue : **0,11 tC/ha/an**

#### Séquestration du carbone dans les forêts :

La séquestration du carbone dans les forêts de type européen est détaillée par Loustau (2010) et Valentini (200 et 2003) pour l'ensemble sols + végétation ;

Pour les forêts de feuillus, nous avons retenu les valeurs données pour les sites de Hesse (France), Vielsam (Belgique), Kiel (Allemagne) et deux autres sites en France, respectivement 2,13 ; 4,5 ; 2,42 ; 2,2 ; 2,6 ; soit en moyenne 2,77 tC/ha/an.

Valeur retenue : **2,77 tC/ha/an**

Pour les forêts de conifères, nous avons retenu les valeurs données pour deux forêts de pins une trentaine d'années après coupe en France et pour six sites en Al-

lemagne de forêts de conifères âgées de 45 à 110 ans, respectivement 5,75 ; 4,98 ; 0,8 ; 3,3 ; 4,8 ; 5,4 ; 3,1 ; 4,9 ; soit en moyenne 4,13 tC/ha/an.

Valeur retenue : **4,13 tC/ha/an**

Pour les forêts mixtes, nous avons retenu les valeurs données pour deux forêts de Belgique âgées de 75 et 70 ans, respectivement 4,3 et 1,6, soit en moyenne 2,95 tC/ha/an

Valeur retenue : 2,95 tC/ha/an

#### Conversion des terres arables en agroforesterie

Pour la conversion de terres labourées en systèmes agroforestiers (sol + végétation), Hamon (2009) donne des valeurs allant de 0,99 à 4 tC/ha/an, avec une moyenne de 2,465

Valeur retenue : **2,46 tC/ha/an**

#### Conversion des terres arables en forêt mixte

Nous avons repris le flux moyen de séquestration des forêts mixtes à l'équilibre : 2,95 tC/ha/an

Valeur retenue : **2,95 tC/ha/an**

#### Conversion des prairies vers agroforesterie

A défaut de données sur la séquestration dans un système agroforestier issu de prairie, nous faisons l'hypothèse qu'elle est la même que dans un système agroforestier issu de terres arables.

Valeur retenue : **2,46 tC/ha/an**

#### Conversion des prairies en forêt mixte

Poeplau et al. (2011), repris par Pellerin et al. (2020), signale que la conversion d'une prairie en forêt s'accompagne d'une perte par le sol de 170 kgC/ha/an pendant les vingt premières années, et d'un gain de 240 kgC/ha/an sur 100 ans. Sur la période 2030-2050, les sols de prairies forestées perdront donc 0,17 tC/ha/an. La végétation fixera du carbone au rythme de 2,95 tC/ha/an. Pour l'écosystème total (sol + végétation) sur la période 2030-2050, la séquestration est donc de 2,95 - 0,17 = 2,78 tC/ha/an

Valeur retenue : **2,78 tC/ha/an**

### 3.4. EVOLUTION DU TAUX DE SÉQUESTRATION DU CARBONE ET DU CO2 DANS LA RÉGION FONCTIONNELLE ET AU LUXEMBOURG

Aux trois dates clés, 2021, 2030 et 2050, les taux de carbone séquestré dans l'ensemble des divers types d'écosystèmes et d'agrosystèmes sont les suivants pour les trois zones initiales de terres arables, de prairies et de forêt :

TYPES	Région fonctionnelle			Luxembourg		
	2021	2030	2050	2021	2030	2050
Zone des terres arables	-0,029	0,037	0,140	-0,026	0,029	0,113
Zone des prairies	0,011	0,143	0,181	0,007	0,078	0,084
Zone des forêts	0,625	0,567	0,520	0,451	0,379	0,427
<b>Total (t C/habitant/an)</b>	<b>0,607</b>	<b>0,747</b>	<b>0,841</b>	<b>0,432</b>	<b>0,486</b>	<b>0,624</b>
<b>Total (t CO2/habitant/an)</b>	<b>2,227</b>	<b>2,742</b>	<b>3,085</b>	<b>1,584</b>	<b>1,783</b>	<b>2,288</b>

#### Évolution du taux de séquestration du carbone dans les trois zones initiales (terres arables, prairies, forêts) dans la région fonctionnelle et dans le Grand-Duché du Luxembourg

Ces taux sont des instantanés, valables uniquement pour les trois années considérées. Il est très difficile d'évaluer la dynamique qui sera suivie par le taux de séquestration total (zones des terres arables + prairie + forêt) entre 2021 et 2030 puis 2030 et 2050. L'hypothèse la plus parcimonieuse est celle d'une dynamique linéaire qui surestime probablement les taux de séquestration en début de période et les sous-estime en fin de période. Sous cette hypothèse, ces dynamiques peuvent être représentées comme suit :



#### Évolution du taux de séquestration totale du carbone dans la région fonctionnelle selon le scénario étudié ou la poursuite du mode d'affectation des terres de 2021.

Dans le scénario considéré, les changements de pente du taux de séquestration total entre la période 2021-2030 et la période 2030-2050 sont uniquement dûs à la croissance de la population. **Le maintien du mode d'affectation des terres actuelles (business as usual) conduit à un affaiblissement continu du taux de séquestration total en raison de la croissance de la population, mais aussi en raison de l'émission de CO<sub>2</sub> par les terres arables.** L'intensité de cette perte de carbone par les sols en culture conventionnelle est toutefois susceptible de ralentir très progressivement au fur et à mesure que le stock total de carbone dans les couches superficielles du sol s'amenuise. Des changements de pratiques (semis direct, cultures intermédiaires, implantation de haies) peuvent également compenser ou surcompenser ces pertes (séquestrations additionnelles d'environ 100, 220 et 125 kgC/ha/an respectivement ; Chenu 2016).

## 3.5. COMMENTAIRES ET CONCLUSIONS

Sans être négligeables, les taux de séquestration du carbone par les agrosystèmes et les forêts ne sont pas très élevés : le changement d'affectation des terres est donc un outil efficace pour réduire l'empreinte carbone et l'empreinte écologique de la région fonctionnelle et du Luxembourg qui ne peut prendre tout son sens que dans le cadre d'une stratégie d'ensemble ambitieuse. Un point frappant est la différence 0,8 à 1 tCO<sub>2</sub>/ha/an entre la région fonctionnelle et le Luxembourg qui s'explique pour l'essentiel par une augmentation de la population luxembourgeoise envisagée à 50 % sur la période 2021–2050.

Le scénario que nous avons proposé n'est qu'un exemple de politique territoriale possible. D'autres scénarios sont envisageables mais ils ne pourraient changer qu'à la marge le taux de séquestration total du carbone dans les sols et la végétation locales. Toutefois, compte tenu des enjeux, rien n'est à négliger. **Outre les changements de pratiques agricoles déjà signalés, la mise en place d'une couverture végétale la plus dense possible en ville et la végétalisation des espaces libres le long des voies de communication peut permettre de majorer significativement le taux de séquestration totale du territoire.** De même, le couplage du cycle du carbone urbain au cycle du carbone agricole par la restitution au sol, sous certaines conditions, des déchets organiques produits

par les villes, est susceptible de stabiliser ou d'augmenter le taux de séquestration du carbone dans les sols agricoles. Les aléas climatiques et sanitaires ainsi que des modes de gestion des forêts inappropriés (coupe à blanc, coupes trop fréquentes qui tendent à épuiser le sol en azote et en phosphore) et des modes d'utilisation du bois non durables sont au contraire susceptibles de minorer le taux de séquestration.

**Sans surprise, le poids des forêts est très important dans la détermination de la capacité à séquestrer le carbone d'un territoire.** Dans notre scénario, nous avons choisi de privilégier les forêts mixtes, c'est-à-dire comportant un mélange de feuillus et de conifères et maximisant la diversité des espèces plantées, notamment dans le groupe des feuillus. Il apparaît en effet de plus en plus clairement, même si le nombre de résultats scientifiques disponibles est encore limité, qu'une diversité élevée améliore la résistance, si ce n'est la résilience, des peuplements végétaux aux épisodes de sécheresse et de canicule, ainsi qu'aux pathogènes. Par ailleurs, la diversité végétale est corrélée à la diversité animale et microbienne : maximiser la diversité végétale dans les forêts est une réponse appropriée à la crise climatique et à la crise de la biodiversité.

**La question de l'adaptation des forêts aux changements climatiques pose des défis pour l'instant difficiles à relever. Il est toutefois conseillé de jouer la carte de la diversité des espèces et de la diver-**

**sité génétique intraspécifique et d'engager le plus rapidement possible des expérimentations visant à identifier d'éventuelles nouvelles espèces ou communautés d'espèces à introduire afin d'aider la forêt à se maintenir à moyen et long termes.** Il faut aussi signaler que la végétation dans son ensemble, les massifs forestiers en particulier, ainsi que les arbres en zone urbaine ou dans les parcelles agricoles, jouent un rôle d'abaissement de la température moyenne de l'air et des pics de canicules, avec un effet très positif sur la productivité des cultures et sur la santé animale et humaine.

Les valeurs somme toute élevées de séquestration du carbone par les forêts disponibles dans la littérature s'expliquent par le fait que les forêts européennes dans lequel elles ont été recueillies sont des forêts exploitées, ce qui les maintient dans un état de croissance permanente ; **une forêt mature non exploitée ne séquestre plus ou pratiquement plus le carbone.** Lorsque qu'un territoire est engagé dans une réduction de sa consommation d'énergie, il est recommandé de privilégier les usages durables du bois c'est-à-dire la production de bois matériaux (poteaux, poutres, panneaux...). Privilégier les usages durables du bois revient à améliorer le taux de séquestration du carbone par les forêts. Un autre gain de séquestration, sans doute non négligeable à l'échelle du territoire, est l'amélioration de l'exploitation de nombreuses forêts privées qui,

## COMMENTAIRES ET CONCLUSIONS

dans la région fonctionnelle comme au Luxembourg, semble parfois négligée. La mise en place d'une politique incitative dans ce domaine pourrait permettre un petit gain de séquestration. Par ailleurs, on pourrait se laisser tenter par la mise en place de peuplements de conifères à croissance rapide afin d'augmenter le taux de séquestration du carbone dans les forêts du territoire. Mais, cela viendra impacter négativement la biodiversité, c'est donc une stratégie à éviter absolument.

Un plan de transition réussie donne autant d'importance à la réduction de l'empreinte carbone et à la réduction de l'empreinte écologique. Le stock de carbone dans le sol représente un stock d'énergie et d'éléments exploités par les micro-organismes, les végétaux et les animaux : il est de fait un facteur de contrôle important de la biodiversité. Augmenter la teneur en carbone dans le sol, c'est donc accroître la possibilité d'une biodiversité. De plus, dans les espaces cultivés, la teneur en carbone organique du sol est un élément clé de la fertilité, positivement corrélé à la biodiversité du sol, et favorable à la santé comme à la productivité des plantes cultivées. Enfin, le renforcement de la composante végétale dans le paysage, l'extension des surfaces forestières et des canopées urbaines, la mise en place de systèmes complexes comme les systèmes agroforestiers, le rétablissement de connectivités végétales permettent à coup sûr de construire un paysage et une société mieux armées face aux risques engendrés par les crises du climat et de la biodiversité, et moins dégradantes de l'habitabilité de la Planète.



# 4. Modélisation de l'impact carbone du projet f(lux)

À L'ÉCHELLE DE LA RÉGION FONCTIONNELLE  
ET DES 4 SITES D'ÉTUDES



## 4.1. MODÉLISATION DE L'IMPACT CARBONE DU PROJET F(LUX) À L'ÉCHELLE DE LA RÉGION FONCTIONNELLE ET DES 4 SITES D'ÉTUDES

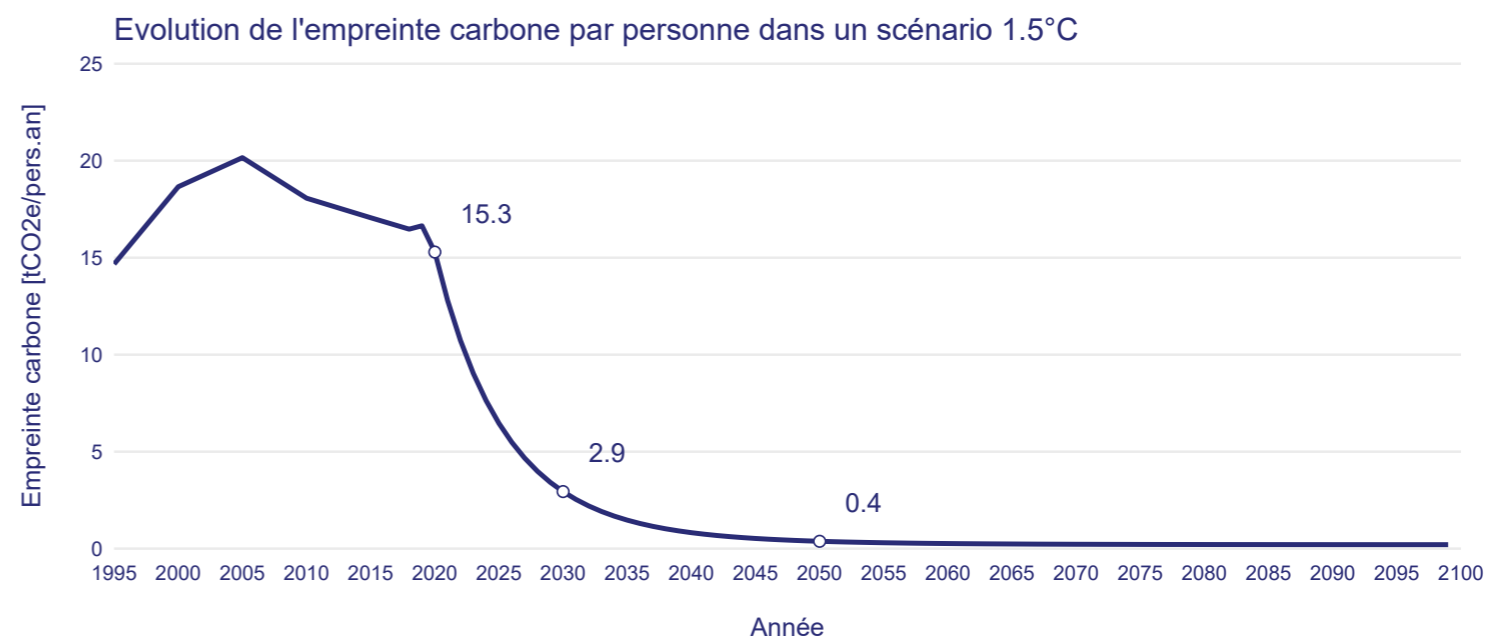
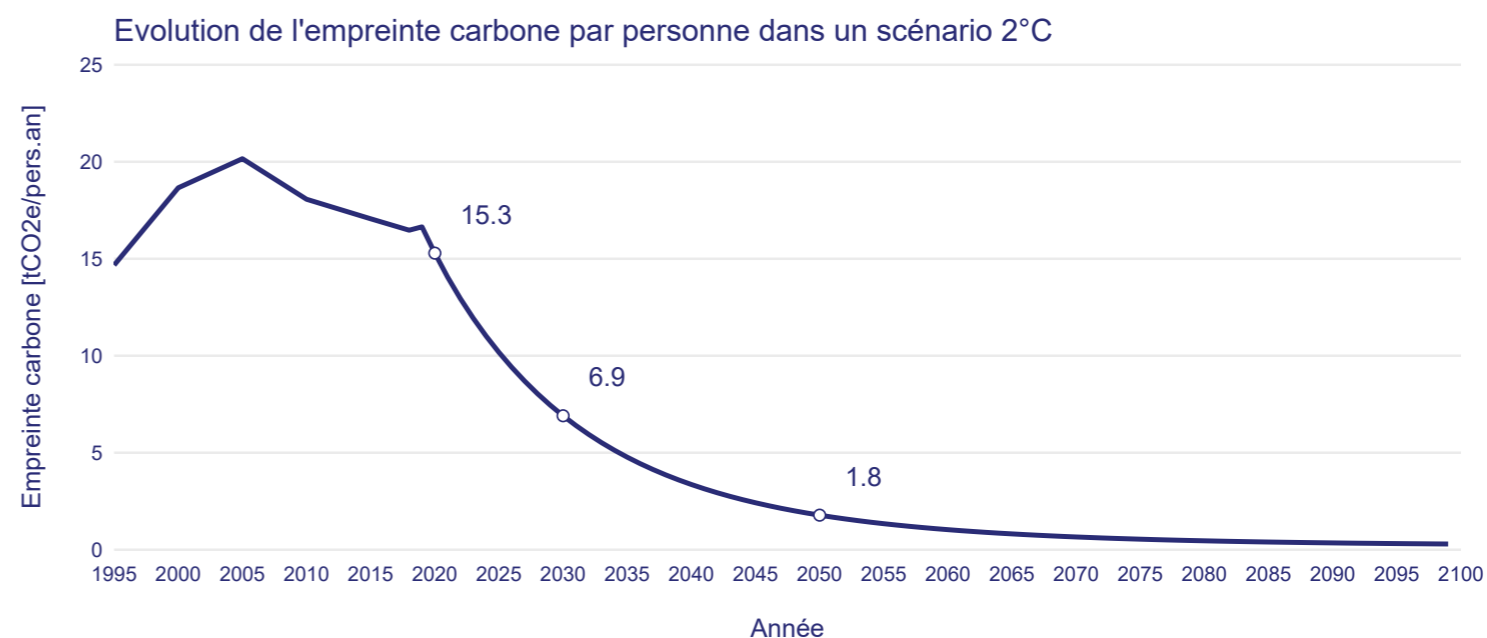


## 4.1.1. TRAJECTOIRES +1.5°C ET 2°C DE LA RÉGION FONCTIONNELLE

Lors de la phase 1, nous avons calculé le budget carbone de chaque pays de la région fonctionnelle pour élaborer une trajectoire de réduction d'émissions compatible avec les scénarios +1.5°C et +2°C. Nous recalculons ici un nouvel objectif de trajectoire en considérant virtuellement la région fonctionnelle comme un pays en soi, dont l'empreinte carbone en 2020 et l'évolution de la population jusqu'en 2100 conditionnent le niveau d'effort à atteindre.

Les empreintes carbone française (10 tCO<sub>2</sub>e/pers/an), allemande et belge (15 tCO<sub>2</sub>e/pers/an) sont inférieures à celle du Luxembourg en 2020 (25 tCO<sub>2</sub>e/pers/an), ce qui mène à un objectif de 6.9 tCO<sub>2</sub>e/pers/an en 2030 et 1.8 tCO<sub>2</sub>e/pers/an en 2050. Cette trajectoire de réduction correspond à une baisse moyenne des émissions de 7 %/an.

**Dans le cadre d'un scénario compatible avec l'objectif +1.5°C, cette baisse devrait atteindre 11%/an, soit 2.9 tCO<sub>2</sub>e/pers/an en 2030, et 0.4 tCO<sub>2</sub>e/pers/an en 2050.**



## 4.1.2. LE MODÈLE F(LUX), VERSION 0.2

---

### DE LA VERSION 0.1 À LA VERSION 0.2

Lors de la phase 1, la version 0.1 du modèle f(lux) explorait la possibilité d'estimer l'empreinte carbone de la mobilité domicile-travail de sous-populations différenciées, de manière « bottom-up », avec une résolution spatiale et technique suffisante pour étudier les effets de quelques leviers d'action : Luxembourgeois ou frontaliers, télétravail, covoiturage, véhicule électrique... L'empreinte carbone globale des habitants était quant à elle estimée par une approche « top-down », grâce aux données Exiobase, avec une décomposition par poste et par pays mais aucune différenciation possible à un niveau de détail spatial ou social supérieur.

Pour la phase 2, nous étendons notre approche « bottom-up » à l'ensemble des postes d'émissions de l'empreinte carbone. Les questions de la mobilité des personnes, des sols et de l'alimentation, les deux sujets majeurs de notre groupement jusqu'à présent, sont plus particulièrement détaillés : nombre, distances, modes et motifs des déplacements dans le premier cas, utilisation des surfaces agricoles et dépenses détaillées par types d'aliments dans l'autre. Le logement, la consommation de biens et de services, et tous les autres postes d'émissions sont intégrés grâce aux dépenses des ménages. Tous ces éléments varient selon les territoires et les caractéristiques socio-économiques des personnes, pour construire des estimations diffé-

renciées et détaillées. Le modèle s'appuie toujours sur la base « top-down » de l'Exiobase pour les données d'intensité carbone des produits, dont nous modélisons les dépenses par cette approche « bottom-up ».

### UNE COUVERTURE DE 70% DE LA POPULATION DE LA RÉGION FONCTIONNELLE

Le modèle f(lux) nécessite un travail de collecte de données et de préparation des hypothèses conséquent, pour lui donner une bonne représentation spatiale, sociale et par poste d'émissions de l'empreinte carbone. Il n'était pas possible de mener ce travail pour les quatre pays de la région fonctionnelle dans le cadre de la phase 2, même si les plateformes de données de la grande région fournissent un premier niveau d'harmonisation. Nous avons donc choisi de ne modéliser les populations et les territoires que des parties luxembourgeoise et française de la région fonctionnelle, ce qui permet tout de même de couvrir 70 % de sa population de 2020, tout en intégrant bien la dimension transfrontalière à notre analyse.

Il serait néanmoins tout à fait possible d'étendre notre approche de modélisation à la Belgique et à l'Allemagne, car les données qu'elle implique sont collectées dans le cadre des recensements ou de différentes enquêtes réalisées par les instituts statistiques nationaux (STATEC, STABEL, DESTATIS, INSEE) ou européens (Eurostat).

### ECHANTILLONNAGE DE POPULATIONS REPRÉSENTATIVES DE LA RÉGION FONCTIONNELLE

Notre stratégie s'appuie sur une représentation détaillée de la population de la région fonctionnelle, afin de pouvoir étudier des projets et des leviers de décarbonation spécifiques et différenciés sur plusieurs plans : spatial, temporel, social et technique. La réussite de la transition passera en effet par la prise en compte de réalités très diversifiées sur ces différents plans, même si l'objectif de 1.8 tCO<sub>2</sub>e/pers/an est formulé sous la forme d'une moyenne globale par habitant, le système climatique ne faisant lui pas de différences.

Les habitants de la région fonctionnelle ont premièrement des caractéristiques différentes selon leur pays de résidence, puis au sein de chacun d'entre eux, entre chaque commune et quartier. Les habitants de la banlieue riche de Luxembourg n'ont pas les mêmes pratiques que ceux des communes rurales du nord du Luxembourg, ou encore que ceux de la banlieue de Thionville et ses 40 % d'actifs frontaliers. Au-delà du niveau de vie, les conditions du logement ou encore les pratiques de mobilité sont différentes, et donc l'empreinte carbone des habitants et les leviers d'action envisageables et efficaces seront également variables. Le modèle f(lux) intègre donc une représentation de la population de la région fonctionnelle détaillée au niveau communal, un niveau qui permet de prendre en

## LE MODÈLE F(LUX), VERSION 0.2

compte d'une partie de ces différences, tout en étant bien souvent le dernier niveau de précision spatial des données disponibles.

Le modèle différencie ensuite les personnes selon plusieurs dimensions, qui varient pour chaque commune et sont souvent corrélées : catégorie socio-professionnelle de la personne et de la personne de référence du ménage (cadres dirigeants et professions intellectuelles, professions intermédiaires, employés, travailleurs manuels, chômeurs, retraités et autres inactifs), classe d'âge (par tranche de 5 années), taille du ménage et type de ménage (individu seul, en couple avec ou sans enfants), et niveau de vie, mesuré par le revenu disponible par unité de consommation du ménage. Nous nous appuyons sur les données et les publications disponibles du STATEC au Luxembourg,<sup>1-2-3-4</sup> et de l'INSEE en France<sup>5</sup>, pour alimenter les hypothèses du modèle.

Nous adoptons une logique d'échantillonnage de population pour étudier les caractéristiques locales de sites d'études donnés, en fonction de leur appartenance à telle ou telle commune. Le modèle permet ainsi de construire une représentation plausible, détaillée et représentative des habitants d'un site, sans

chercher pour autant à modéliser les caractéristiques individuelles de toute une population.

### PROJECTIONS DES CARACTÉRISTIQUES DE LA POPULATION

Le modèle prend en compte deux évolutions majeures de la population entre aujourd'hui et 2050 : la variation de la taille de la population,<sup>6</sup> et son vieillissement<sup>7</sup>. Ces deux changements vont notamment modifier le nombre et la répartition des actifs, la taille moyenne des ménages, les niveaux de vie ou encore les pratiques de consommation et de mobilité, et donc influenceront sur l'empreinte carbone du territoire, même si rien ne changeait par ailleurs dans le reste du système.

Notre stratégie d'échantillonnage intègre la modification de la pyramide des âges en 2030 et 2050, avec une probabilité de tirer les individus qui dépend de l'évolution de leurs classes d'âge par rapport à 2020. Un couple de personnes retraitées aura plus de chance d'apparaître dans l'échantillon en 2050 qu'en 2020 par exemple, contrairement aux enfants de moins de quinze ans, proportionnellement moins nombreux en 2050. Nous faisons donc l'hypothèse simplificatrice que seule la proportion des différentes classes d'âge changera entre 2020 et 2050, et pas les caractéristiques

socio-démographiques au sein de chaque classe d'âge. La proportion de couples avec enfants de 30-35 ans sera par exemple la même en 2020 et en 2050.

La localisation des actifs et des emplois résulte de cette évolution, et est traitée en particulier dans le modèle détaillé de mobilité.

### MODÈLE DÉTAILLÉ DE MOBILITÉ DES PERSONNES

Déjà investiguée lors de la phase 1, la question de la mobilité des personnes est centrale dans l'empreinte carbone des habitants de la région fonctionnelle, et le modèle de la phase 2 embarque un niveau de détail plus élevé. Il modélise les comportements de mobilité des personnes selon leur type de territoire de résidence (urbain, banlieue, ville isolée, rural), leurs caractéristiques socio-économiques (catégorie socioprofessionnelle de la personne et de la personne de référence du ménage) et le nombre de voitures à leur disposition. Comme pour la population, le modèle fonctionne sur la base d'un échantillonnage de déplacements pour une année complète, selon les caractéristiques des personnes. Ils sont différenciés par distance, par motif (domicile – travail, achats, loisirs, vacances...), mode de transport (marche, vélo, voiture, bus, train, avion...), et par nombre de passagers dans le véhicule. Nous nous appuyons sur l'Enquête Nationale des Déplacements et

1 STATEC, 2012 : Bulletin du STATEC, Salaires, emploi et conditions de travail. Premiers résultats de l'enquête sur la structure des salaires de 2010.

2 STATEC, 2019 : Projections des ménages et de la demande potentielle en logements : 2018-2060.

3 STATEC, 2017 : Indice socio-économique par commune.

4 CEPS/INSTEAD, 2006 : Villes et agglomérations au Grand-Duché de Luxembourg. Proposition d'une nomenclature des unités urbaines.

5 INSEE, 2020 : Fichiers détails du recensement 2017.

6 Observatoire interrégional du marché de l'emploi et SIG Grande Région, Population totale 2020 - 2050.

7 ONU, 2020 : World Population Prospects.

## LE MODÈLE F(LUX), VERSION 0.2

---

des Transports française<sup>1</sup> et sur l'enquête de mobilité domicile - travail du recensement français pour alimenter les hypothèses nécessaires.

Avec cette approche, les distances parcourues sont représentatives des types territoires dans lesquels les déplacements ont lieu, mais ne reflètent pas les équilibres locaux entre actifs et emplois, consommateurs et commerces, usagers et lieux de fourniture des services. Nous modifions ce point pour les motifs domicile – travail et domicile – achats : un « modèle d'opportunités<sup>2</sup> » est mis en place pour calculer la probabilité d'aller travailler ou faire des achats dans telle ou telle commune, selon l'équilibre offre – demande à l'échelle territoriale. Afin d'éviter les effets de bord, le modèle intègre une zone tampon de 40 kilomètres autour de la région fonctionnelle.

Dans un modèle d'opportunités, les temps de trajets entre communes permettent d'évaluer la pertinence d'un déplacement du point de vue d'une personne. Elle aura tendance à privilégier des destinations proches, tout en explorant potentiellement les opportunités de l'ensemble du territoire. Les temps de transport à la base du calcul sont estimés en analysant les données des réseaux de transport d'Open Street Map de la ré-

gion fonctionnelle (autoroutes, voies rapides, routes et lignes de train), et les liaisons possibles entre les communes via ces réseaux.

L'attractivité des salaires luxembourgeois est intégrée via un abaissement virtuel du temps de transport, proportionnel au différentiel de salaire entre la zone frontalière et le Luxembourg<sup>3</sup>.

La localisation de l'offre de service est approchée en fonction de la densité de commerces de chaque commune, à partir des données Open Street Map.

### ESTIMATION DES REVENUS ET DES DÉPENSES DES MÉNAGES

La phase 1 modélisait l'empreinte carbone de l'ensemble des ménages des quatre pays, à partir de données de consommation issues de leurs systèmes de comptabilité nationale macro-économique. Pour la phase 2, le modèle reconstruit ces dépenses à partir d'enquêtes auprès des ménages<sup>4-5</sup>, qui permettent d'estimer la composition de leurs consommations selon certaines de leurs caractéristiques : niveau de vie (pour le Luxembourg), taille du ménage, âge de la personne de référence, catégorie socio-professionnelle (pour la France). Couplée à l'échantillonnage de populations locales représentatives, cette approche permet

d'estimer des niveaux variables de consommation des différents produits variables, pour chaque commune.

### INTÉGRATION DES AUTRES POSTES D'ÉMISSIONS

L'empreinte carbone par personne inclut d'autres postes d'émissions que celles liées directement aux pratiques des ménages, calculés à partir des données Exiobase. On considère ainsi que les émissions liées aux activités des gouvernements et des associations à but non lucratif au service des ménages font partie de l'empreinte carbone, en les répartissant de manière équitable entre tous les citoyens.

La formation de capital fixe est également traitée séparément et répartie à ce stade entre tous les citoyens. Elle devrait cependant être détaillée par type de capital (bâtiments, infrastructures, véhicules, cultures agricoles, propriété intellectuelle) et par type d'acteur propriétaire du capital (entreprises, ménages, gouvernement).

Enfin, les variations d'inventaire sur le territoire sont également conventionnellement comptées dans l'empreinte carbone, ce qui est potentiellement problématique pour un pays aussi impliqué dans le commerce international que le Luxembourg.

---

1 Ministère de la Transition Ecologique, Enquête Nationale des Déplacements et des Transports 2008.

2 Liu, EJ., Yan, XY. A universal opportunity model for human mobility.

3 Eurostat, 2018 : Mean annual earnings by NUTS 1 regions (enterprises with 10 employees or more).

4 STATEC, 2011 : Bulletin du STATEC, Enquête permanente sur le budget des ménages.

5 INSEE, 2011 : Enquête budget des ménages.

## LE MODÈLE F(LUX), VERSION 0.2

---

### **VERS UN MODÈLE F(LUX) 0.3**

La version 0.2 du modèle f(lux) donne une résolution spatiale et sociale détaillée aux estimations d'empreinte carbone, ce qui aide à concevoir des stratégies de décarbonation efficaces et contextualisées. Nous avons privilégié un développement du niveau de détail du modèle, plutôt qu'une couverture exhaustive de la région fonctionnelle et de tous les postes de l'empreinte carbone de ses habitants. A ce stade, seuls les parties luxembourgeoise et française de la région ainsi que les postes liées à la mobilité des personnes et à leur alimentation font l'objet d'une modélisation détaillée.

L'objectif d'une version 0.3 du modèle f(lux) serait donc de couvrir la totalité du territoire, ainsi que de d'étendre les leviers d'action à d'autres postes importants de l'empreinte carbone : transition énergétique, secteur de la construction, économie circulaire des biens, transport de marchandises, gestion des déchets... Nous visons une approche systémique de l'empreinte carbone, avec de nombreux liens entre secteurs à explorer, qu'il s'agisse de l'intensité carbone de l'électricité qui change l'intérêt du véhicule électrique ou encore des logements et des locaux d'entreprises à construire ou rénover dans le cadre d'une stratégie d'équilibrage des mobilités.

Ces deux derniers points devraient être améliorés dans d'éventuelles versions ultérieures du modèle, notamment pour alimenter l'empreinte carbone du logement et plus généralement la stratégie de décarbonation du secteur de la construction.

### 4.1.3. LEVIERS D'ACTION INTÉGRÉS AU MODÈLE

#### DIMINUTION DES VITESSES

La diminution des vitesses sur les routes est un levier significatif de décarbonation, mobilisable techniquement dès à présent et constituant un signal symbolique de sortie de l'ère du tout voiture. Elle a un double effet : la consommation des véhicules diminue, et l'augmentation des temps de transport implique à moyen terme un rééquilibrage des déplacements vers des distances plus courtes. Il est en effet démontré que la vitesse moyenne de déplacement est fortement corrélée à la distance de déplacement, les usagers raisonnant essentiellement du point de vue du temps de transport<sup>1</sup>.

Dans un premier scénario, nous proposons de réduire les vitesses de 130 km/h à 110 km/h (-20% de consommation) sur l'autoroute, de 90 à 80 km/h (-5% de consommation) sur les routes et de 50 à 40 km/h en ville. Cette dernière réduction n'est pas associée à une réduction de la consommation des véhicules, mais tout de même proposée dans le cadre du développement de tissus urbains favorables aux modes doux.

Dans un second scénario, la vitesse est réduite encore plus sur les autoroutes, à 80 km/h (-33% de consommation), pour permettre leur déclasserment, la réduc-

tion de la largeur des voies et la réutilisation d'une des deux chaussées pour d'autres usages (mobilités douces, production d'énergies renouvelables).

Nous faisons l'hypothèse d'une répartition des distances parcourues en ville, sur les routes et les autoroutes de respectivement 25, 50 et 25%<sup>2</sup>, afin de calculer un effet global de réduction des vitesses.

Dans le scénario f(lux), le premier scénario est déployé dès 2022, puis le second scénario à partir de 2030. Dans le scénario tendanciel, les vitesses ne sont pas modifiées.

#### TÉLÉTRAVAIL

Le télétravail est un moyen simple de réduire le nombre de déplacements domicile – travail dès aujourd'hui, notamment grâce aux solutions offertes par les technologies de l'information. Le 100% télétravail n'est cependant ni possible pour toutes les catégories d'emploi, ni même souhaité par la majorité des salariés et leurs employeurs<sup>3</sup>.

Nous proposons donc une formule de télétravail intermédiaire : pour les emplois qui se prêtent au télétravail, les actifs passent deux jours chez eux, deux jours en

entreprise, et un jour dans un centre de coworking ou un autre lieu situé dans leur commune de résidence.

Il faut cependant noter qu'en l'absence de mesures complémentaires, le télétravail présente un risque d'effet rebond. En effet, la réduction de la fréquence moyenne des déplacements domicile-travail pourrait selon certaines études être compensée à moyen terme par une hausse de la portée moyenne de ces déplacements<sup>4</sup>, par effet de relocalisation des ménages profitant du gain de temps engendré (incitation à accepter un emploi plus éloigné de son domicile, ou à s'installer plus loin de son emploi). Nous pensons toutefois que cet effet rebond peut être limité par la mise en œuvre du levier de diminution des vitesses, qui tend pour sa part à réduire la portée moyenne des déplacements des individus (voir paragraphe précédent).

Nous utilisons les données issues des enquêtes menées pendant les confinements liés à l'épidémie de COVID-19 pour estimer une part d'emploi télétravaillable, par catégorie professionnelle<sup>5</sup> : 50% pour les cadres et les professions intermédiaires, 20% pour les employés et 0% pour les autres catégories (ouvriers, commerçants et chefs d'entreprise, agriculteurs).

1 Bigo, A., 2020 : Les transports face au défi de la transition énergétique. Explorations entre passé et avenir, technologie et sobriété, accélération et ralentissement.

2 S. Lacour, R. Joumard., 2010 : Parc, usage et émissions des véhicules routiers en France de 1970 à 2020.

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

4 Aguiléra, A., & Terral, L., 2020 : Le télétravail réduit-il les déplacements? La revue Urbanisme, pp. 36-37.

5 INSEE, 2020 : Conditions de vie pendant le confinement : des écarts selon le niveau de vie et la catégorie socioprofessionnelle.

## LEVIERS D'ACTION INTÉGRÉS AU MODÈLE

Dans le scénario f(lux), ce levier est déployé dès 2022, et maintenu jusqu'en 2050. Dans le scénario tendanciel, le télétravail retrouve son niveau pré-épidémie de COVID-19.

### DÉVELOPPEMENT MASSIF DU VÉLO, LA « VÉLORUTION »

Le vélo est un mode de transport décarboné particulièrement intéressant pour les distances modérées, étant rapidement mobilisable pour se substituer à la voiture, même à infrastructure constante. Son effet sur l'empreinte carbone sera d'autant plus grand qu'il est couplé à une réduction des distances parcourues, permise par la relocalisation de l'habitat, des emplois et des services, désormais à portée de vélo les uns des autres.

Nous faisons l'hypothèse d'un basculement des modes motorisés individuels (voiture et moto) vers le vélo sur les distances courtes : 100% des trajets inférieurs à 5 km, 75% des trajets entre 5 et 10 km, et 25% des trajets entre 10 et 15 km. Les parts modales de la marche et des transports en commun sont considérés inchangés.

Dans le scénario f(lux), ces parts modales sont atteintes en 2030, et maintenues jusqu'en 2050. Dans le scénario tendanciel, aucune modification des parts modales n'est intégrée.

### COVOITURAGE

Le covoiturage permet de mutualiser l'utilisation des voitures personnelles, et donc de partager les émissions d'un trajet entre covoitureurs. Pour une population donnée, les besoins de transport couverts par la voiture sont variables dans le temps et dans l'espace, ce qui rend difficile d'atteindre un taux de remplissage de 100%.

Nous faisons cependant l'hypothèse qu'il est possible de massifier cette pratique, notamment via la création d'infrastructures dédiées (voies réservées, parkings dédiés, zones de rencontre...), de plateformes de mise en relation des usagers et d'autres incitations, notamment financières, un panel d'actions évoquées notamment dans la stratégie de mobilité du Luxembourg Modu 2.0<sup>1</sup>.

La mise en place du levier se traduit dans le modèle par une modification de la probabilité de l'autosolisme dans les déplacements échantillonnés : 50% gardent une occupation d'une personne, 37.5% passent à deux personnes, et 12.5% passent à une occupation de 3 personnes. Les trajets qui auraient été réalisés à 2 personnes sont modifiés dans une moindre mesure, avec 75% qui ne changent pas et 25% basculent vers une occupation de 3 personnes. Ces chiffres, forcément approximatifs, sont estimés à partir de l'analyse d'enquêtes sur le potentiel du covoiturage<sup>2</sup>. Ils pourraient

être détaillés selon les caractéristiques du déplacement : motif, origine et destination, usagers impliqués... Dans le scénario f(lux), ce levier est déployé dès 2022, et maintenu jusqu'en 2050. Dans le scénario tendanciel, aucune action sur le taux de remplissage des voitures n'est entreprise.

### DIMINUTION DES VOLS DE LOISIRS

Les déplacements en avion constituent actuellement une des pratiques ponctuelles les plus émettrices de carbone. Si la part de l'avion dans l'empreinte carbone peut apparaître faible à l'échelle d'un pays, c'est essentiellement parce qu'une majorité de la population ne prend que peu ou pas du tout l'avion. En Europe, les 20% de ménages les plus aisés représentent par exemple 50% des vols<sup>3</sup>.

Individuellement, la part de l'avion peut ainsi être un des tous premiers postes d'émissions, et donc un levier d'action nécessaire dans le cadre d'une trajectoire personnelle compatible avec l'objectif de +2°C. Dans l'attente de nouvelles technologies de propulsion décarbonées, le scénario f(lux) propose une réduction drastique du nombre de vols personnels, de -90%.

Dans le scénario f(lux), cette baisse du nombre de vols est appliquée dès 2022 et maintenue jusqu'en 2050. Dans le scénario tendanciel, aucune contrainte sur le nombre de vols n'est imposée.

<sup>1</sup> Département des Transports, Direction de la Planification de la Mobilité, 2020 : Stratégie modu 2.0.

<sup>2</sup> ADEME, 2015 : Etude nationale sur le covoiturage de courte distance.

<sup>3</sup> Hopkinson L., Cairns S., 2020 : Elite Status : global inequalities in flying.



## LEVIERS D'ACTION INTÉGRÉS AU MODÈLE

### DIVISION DE LA CONSOMMATION DE VIANDE PAR DEUX

A long terme, la consommation de viande au niveau actuel est difficilement compatible avec un scénario +2°C : le régime alimentaire des habitants des sites étudiés émettait en 2020 environ 1.6 tCO<sub>2</sub>e/pers/an, chiffre à comparer à l'objectif de 1.8 tCO<sub>2</sub>e/pers/an. La consommation de viande implique également une importante utilisation des sols pour la culture des produits d'alimentation animale, qui a notamment des implications problématiques pour la biodiversité.

Le scénario f(lux) prévoit donc une diminution de la consommation de viande moyenne par deux, un chiffre issu des travaux de prospective menés par Solagro sur l'empreinte alimentaire française, dans son scénario Afterres 2050. L'assiette moyenne est rééquilibrée grâce au recours aux protéines végétales, en cohérence avec les recommandations nutritionnelles actuelles.

Nous faisons l'hypothèse d'un changement progressif du régime alimentaire vers une répartition de la population en 20% de végétariens, 50% de personnes consommant environ quatre fois moins de viande que la moyenne, et 30% de personne gardant le niveau de consommation de viande de 2020. Cette distribution des régimes alimentaires mène approximativement à une division par deux de la consommation de viande.

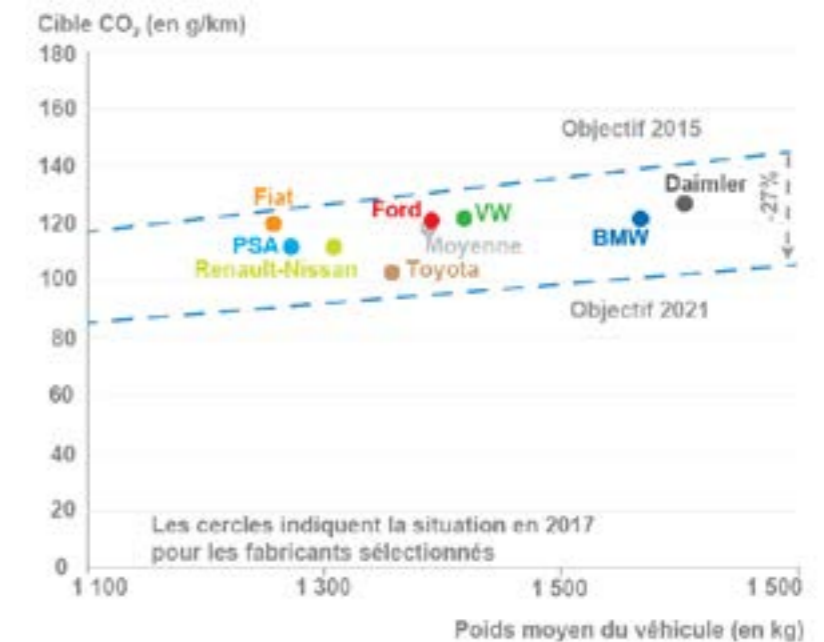
Les évolutions relatives de consommation des différents produits alimentaires lorsqu'une personne passe d'un régime alimentaire à un autre sont intégrées au modèle de dépenses des personnes, afin de pouvoir calculer leur empreinte carbone alimentaire<sup>1</sup>.

Dans le scénario f(lux), cette nouvelle distribution des régimes alimentaires est atteinte en 2030, puis maintenue en 2050. Dans le scénario tendanciel, aucune modification n'est appliquée aux régimes alimentaires pratiqués en 2020.

### VOITURES PLUS LÉGÈRES

L'augmentation régulière du poids des voitures est une tendance qui pèse sur l'empreinte carbone de la mobilité, car elle annule la progression de l'efficacité énergétique des moteurs, pourtant bien réelle<sup>2</sup>. Une augmentation de 100 kg du poids d'une voiture implique en effet une surconsommation, et donc une hausse des émissions, d'environ 5 %.

Nous proposons deux niveaux de réduction du poids moyen des voitures, de 100 et 200 kg. Le poids moyen atteindrait approximativement le niveau des modèles des constructeurs avec les véhicules les plus légers (Fiat, PSA, Renault Nissan) pour le premier palier<sup>3</sup>. Le second palier atteindrait le niveau des modèles « citadines », telles que la Renault Clio ou une Peugeot 2008.



### VOITURES ÉLECTRIQUES

Les voitures électriques constituent un levier de décarbonation technologique important pour les trajets qui n'ont pas pu être évités par d'autres leviers d'action. Avec un rendement moteur bien supérieur aux véhicules thermiques, et malgré leurs batteries, leur empreinte carbone sur la totalité de leur cycle de vie est inférieure à celle des véhicules thermiques, même dans les pays dont l'intensité carbone est élevée comme l'Allemagne. Au Luxembourg, une Renault Zoé aura émis 40% de carbone en moins au bout de 150 000 km par rapport à une Renault Clio. En France, ce serait 65% de moins<sup>4</sup>.

<sup>1</sup> ADEME, 2021 : Empreintes sol, énergie et carbone de l'alimentation.

<sup>2</sup> Bigo, A., 2020 : op. cit.

<sup>3</sup> France Stratégie, 2019 : Comment faire enfin baisser les émissions de CO<sub>2</sub> des voitures.

<sup>4</sup> LIST, 2021 : <https://climobil.connecting-project.lu/>

## LEVIERS D'ACTION INTÉGRÉS AU MODÈLE

Dans le scénario f(lux), deux niveaux de déploiement des véhicules électriques dans le parc sont modélisés, de 50% en 2030, date à laquelle plus aucun véhicule thermique ne serait vendu, et de 100% en 2050. Ce taux de déploiement, très rapide, impliquerait une réduction du nombre de véhicules utilisés, dans une logique ordonnée de sobriété (moins de déplacements) – efficacité (plus de covoiturage) – électrification. Cette baisse n'est pas intégrée au modèle à ce stade.

Dans le scénario tendanciel, la part de véhicules électrique reste à son niveau de 2020 (environ 1%).

### EQUILIBRAGE DE LOCALISATION DES EMPLOIS ET DES ACTIFS

La diminution des distances entre habitat et emploi est importante pour diminuer l'empreinte carbone de la mobilité, surtout pour les zones mal desservies par les transports en commun. La mobilité des travailleurs frontaliers qui entrent et sortent du Luxembourg chaque jour est particulièrement émettrice de carbone, et pousse à envisager un rééquilibrage de la localisation des emplois et des actifs.

Ce rééquilibrage est modélisé de la manière suivante : à partir d'une situation tendancielle de mobilité domicile – travail, tous les flux de déplacements de plus

de 5 km font l'objet d'une opération de relocalisation, avec 50% du nombre d'actifs ajoutés au lieu de travail et 50% d'emplois ajoutés au lieu de résidence. L'opération est répétée pour chaque origine et destination, puis agrégée afin de déterminer une variation d'emplois et d'actifs par commune.

La ville de Luxembourg accueillerait ainsi 18 000 emplois de moins (-10%) et 18 000 actifs de plus (+20%) que dans un scénario tendanciel. A l'inverse, la commune d'Hettange-Grande en Lorraine accueillerait 1000 emplois de plus (+100%) et 1000 actifs de moins (-30%). Ce premier équilibrage théorique devrait faire l'objet d'optimisations au cas par cas, mais permet d'intégrer cet enjeu à l'échelle du territoire, pour les différentes communes.

Dans le scénario f(lux), cette relocalisation s'effectue progressivement entre 2030 et 2050. Dans le scénario tendanciel, aucune action n'est mise en place sur cette question.

### DÉCARBONATION GÉNÉRALE DE L'ÉCONOMIE

La version 0.2 du modèle f(lux) n'intègre pas d'éléments détaillés sur l'évolution de l'intensité carbone du système économique de la région fonctionnelle et du reste du monde, car nous nous sommes concentrés

sur une compréhension spatialement et socialement précise, ainsi que sur des leviers plutôt axés sur la demande.

La décarbonation du système énergétique n'est ainsi pas détaillée, bien qu'elle constitue un des tous premiers leviers d'action de décarbonation, et devra donc être traitée dans la phase 3. De plus, les économies européennes sont particulièrement dépendantes d'imports, et plus particulièrement le Luxembourg, avec 80% de l'empreinte carbone émise en dehors de son territoire.

Nous intégrons donc la transition bas carbone des quatre économies des pays de la région fonctionnelle et du reste du monde de manière simplifiée, basée sur les scénarios publiés par le GIEC dans le cadre de son rapport +1.5°C<sup>1</sup>.

Nous retenons le scénario SSP2 « middle of the road », comme trame de fond pour le scénario tendanciel, aboutissant à un forçage radiatif de 4.5 W/m<sup>2</sup> en 2100 et une hausse de température d'environ +3°C : le monde se décarbone, mais pas assez rapidement pour respecter l'accord de Paris.

<sup>1</sup> Daniel Huppmann, Elmar Kriegler, Volker Krey, Keywan Riahi, Joeri Rogelj, Katherine Calvin, Florian Humpenoeder, Alexander Popp, Steven K. Rose, John Weyant, Nico Bauer, Christoph Bertram, Valentina Bosetti, Jonathan Doelman, Laurent Drouet, Johannes Emmerling, Stefan Frank, Shinichiro Fujimori, David Gernaat, Arnulf Grubler, Celine Guivarch, Martin Haigh, Christian Holz, Gokul Iyer, Etsushi Kato, Kimon Keramidas, Alban Kitous, Florian Leblanc, Jing-Yu Liu, Konstantin Löffler, Gunnar Luderer, Adriana Marcucci, David McCollum, Silvana Mima, Ronald D. Sands, Fuminori Sano, Jessica Strefler, Junichi Tsutsui, Detlef Van Vuuren, Zoi Vrontisi, Marshall Wise, and Runsen Zhang. IAMC 1.5°C Scenario Explorer and Data hosted by IIASA. Integrated Assessment Modeling Consortium & International Institute for Applied Systems Analysis, 2019.

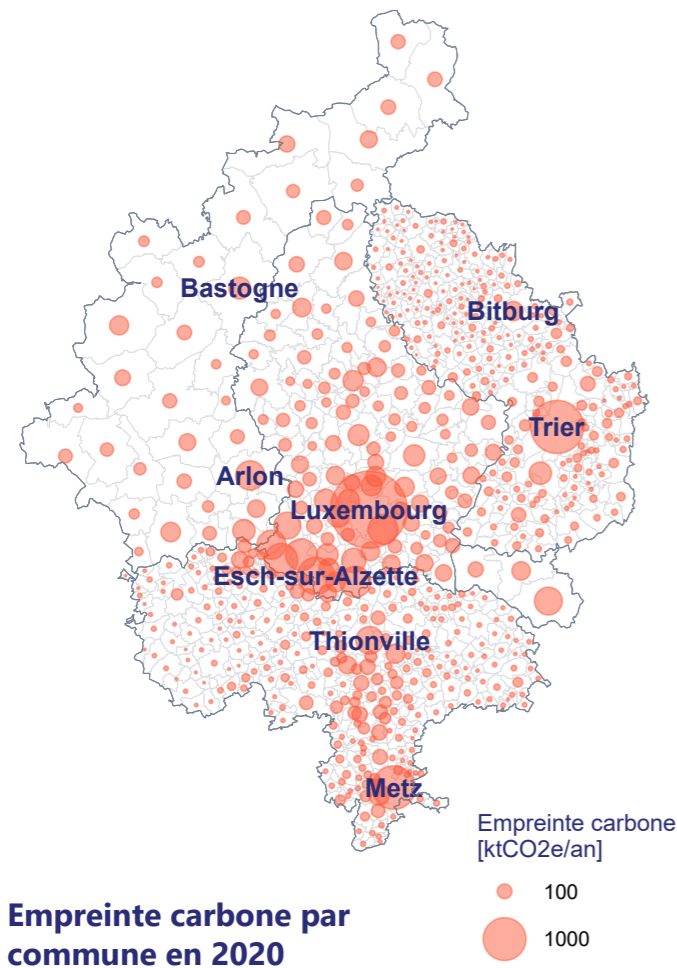
## LEVIERS D'ACTION INTÉGRÉS AU MODÈLE

---

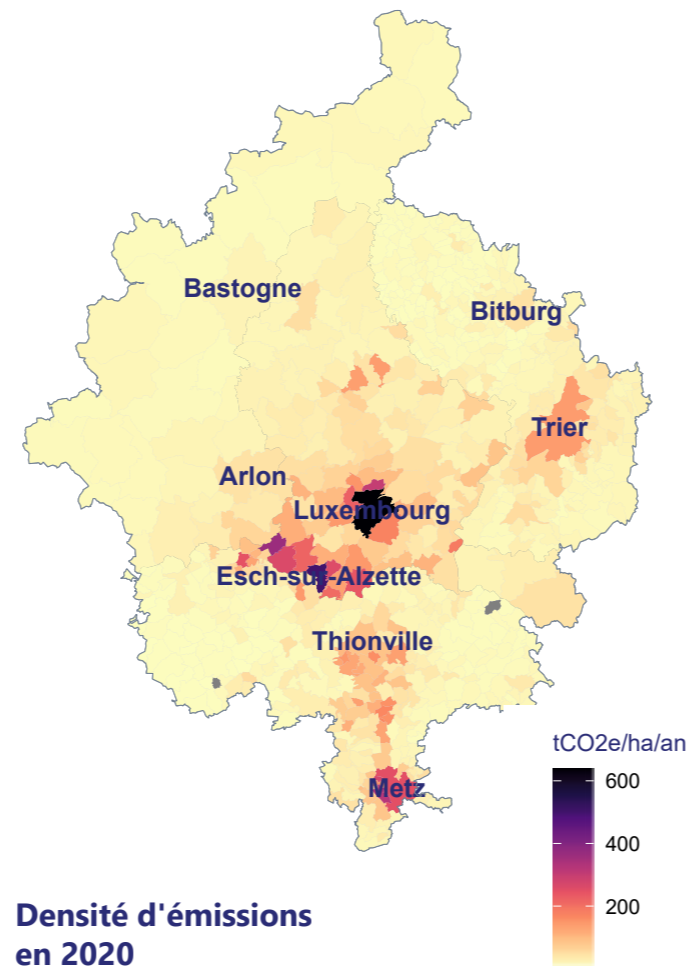
Pour le scénario *f(lux)*, nous sélectionnons le scénario SSP1 « sustainability » comme trame de fond, avec un forçage radiatif de  $2.6 \text{ W/m}^2$  en 2100, et une hausse de température d'environ  $+2^\circ\text{C}$  : le monde accélère fortement sa dé-carbonation pour tenir l'objectif de l'accord de Paris.

Nous analysons alors les trajectoires d'émissions issues des « modèles intégrés d'évaluation » (IAM) réunis par le GIEC pour ces deux scénarios, afin de calculer les changements d'intensité carbone des régions du monde entre 2020 et 2030/2050, par gaz à effet de serre ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ). Ces variations d'intensité carbone globales sont ensuite utilisées pour projeter les intensités carbone des différents pays et produits présents dans les données Exiobase.

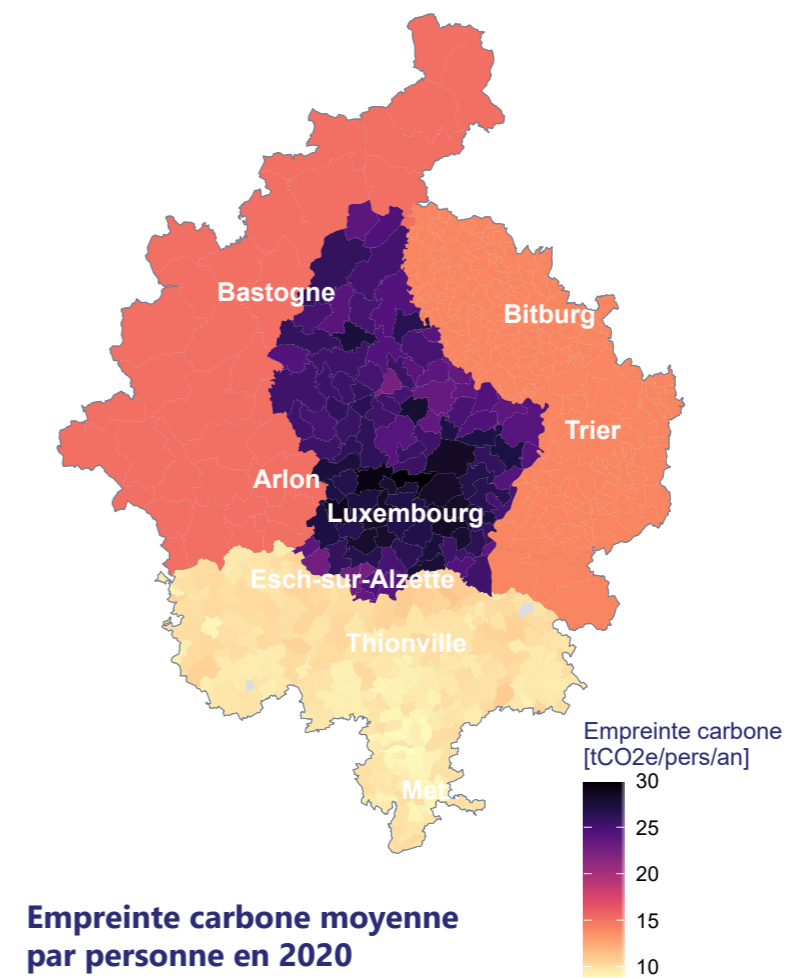
## 4.1.4. RÉSULTATS DE LA MODÉLISATION



L’empreinte carbone de la région fonctionnelle est évaluée à 31.5 MtCO<sub>2</sub>e/an, pour 1.9 millions d’habitants, soit une empreinte carbone moyenne d’environ 16 tCO<sub>2</sub>e/pers/an. Les communes avec la plus grande empreinte sont logiquement celles avec le plus d’habitants, telle que celles de Luxembourg, Trier ou Metz. Les communes du Luxembourg sont également généralement plus émettrices, le différentiel d’empreinte carbone entre pays déjà identifié en phase 1 étant toujours présent.



L’analyse des résultats par unité de surface montre les territoires de forte densité d’empreinte carbone, à mettre en regard de la capacité naturelle d’une forêt exploitée à stocker du carbone, de l’ordre de 5 tCO<sub>2</sub>/ha/an. La ville de Luxembourg a une densité d’empreinte carbone de plus de 600 tCO<sub>2</sub>/ha/an, soit 300 fois plus que ce chiffre de séquestration potentielle. A l’inverse, des communes rurales comme Clervaux ont une densité de l’ordre de 1 tCO<sub>2</sub>e/ha/an, soit 5 fois moins.

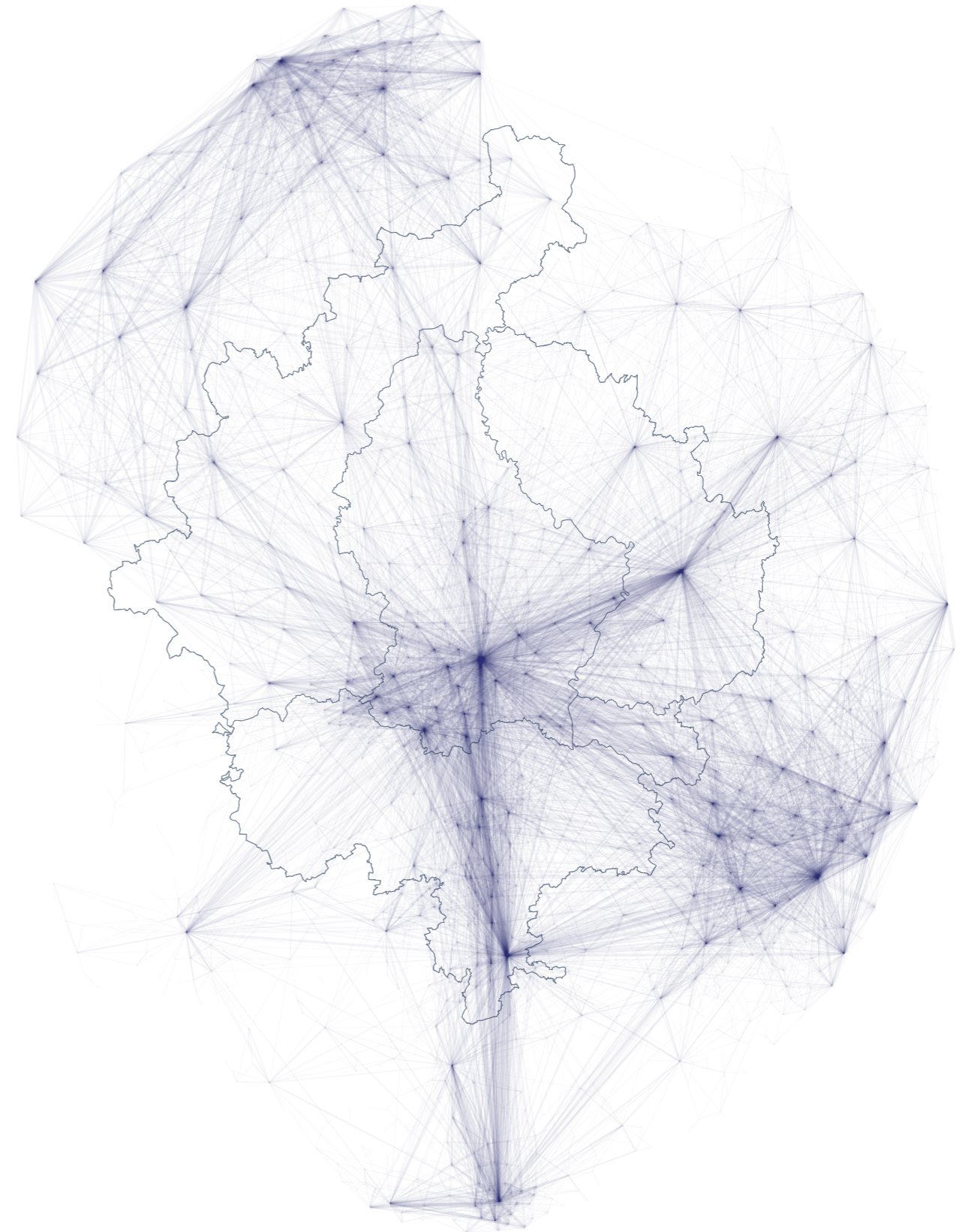


La visualisation des résultats par habitant révèle ce fort différentiel entre pays, ainsi que notre hypothèse simplifiée d’empreinte carbone par habitant constante quelque soit la commune en Allemagne et en Belgique. Comme nous le verrons en analysant les émissions par poste, la différence d’empreinte s’explique avant tout par des émissions hors consommation des ménages très différentes entre les pays, d’environ 13 tCO<sub>2</sub>e/pers/an au Luxembourg, contre environ 3 tCO<sub>2</sub>e/pers/an en France. Elle s’explique ensuite par des facteurs d’émissions des produits différents selon le pays, dont les chaînes d’approvisionnement et de production des produits sont appuyés sur des systèmes énergétiques différents : l’électricité est actuellement environ 4 fois plus émettrice eu Luxembourg qu’en France, par exemple.

## RÉSULTATS DE LA MODÉLISATION

Au-delà de cette différence entre pays, il existe des différences marquées d'empreinte carbone entre communes. Les habitants des communes de Luxembourg et de sa banlieue sont plus émetteurs que ceux des communes du nord du pays : 27 tCO<sub>2</sub>e/pers/an à Luxembourg ou 30 tCO<sub>2</sub>e/pers/an à Steinsel, contre 23 tCO<sub>2</sub>e/pers/an à Shifflange ou Ettelbruck. En France, l'empreinte carbone augmente avec la proximité du Luxembourg, reflétant la part de travailleurs frontaliers croissante et un niveau de vie également croissant : 11 tCO<sub>2</sub>e/pers/an à Rodemack ou Zoufftgen, juste au sud du Luxembourg, contre 8 tCO<sub>2</sub>e/pers/an à Norroy le Veneur ou Talange, entre Metz et Thionville.

Les pratiques de mobilité sont déterminantes pour l'empreinte carbone des personnes, notamment pour les travailleurs frontaliers qui peuvent parcourir plus de 100 kilomètres par jour pour se rendre dans leur lieu de travail au Luxembourg. La visualisation des flux de mobilité domicile – travail estimés par le modèle pour l'année 2020 révèle ce pouvoir d'attraction du Luxembourg, qui influe sur la mobilité des personnes même au-delà de la région fonctionnelle, directement et par effet ricochet, jusqu'aux agglomérations de Nancy, Liège ou Saarbrücken. Les axes Metz – Thionville – Luxembourg ou Trier – Luxembourg sont particulièrement sollicités, et seront des objets de transition particulièrement importants.

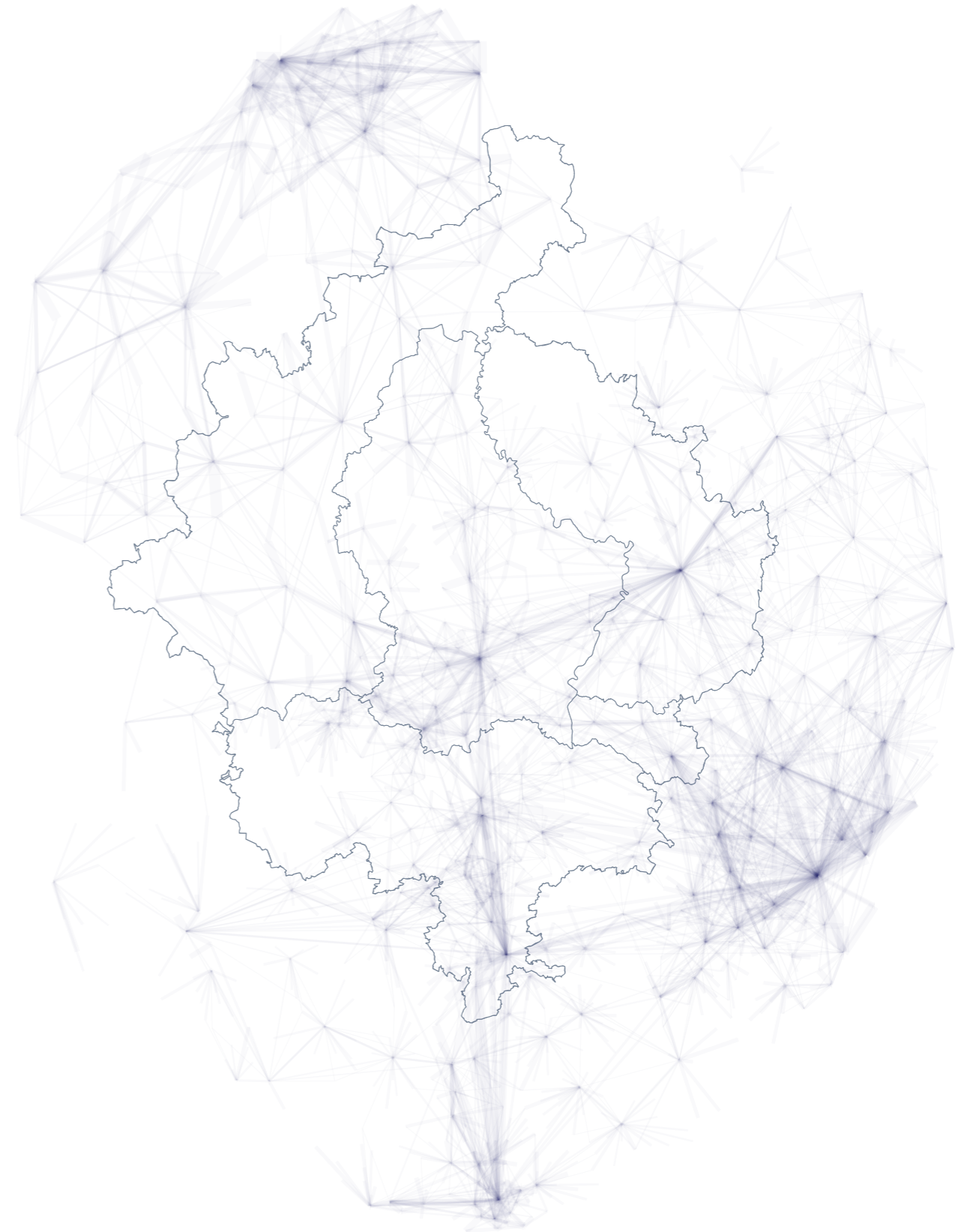


Flux de mobilité domicile - travail supérieurs à 10 personnes de la région fonctionnelle et de ses environs, pour l'année 2020.

## RÉSULTATS DE LA MODÉLISATION

---

Les flux de mobilité domicile – achats estimés par le modèle sont eux beaucoup plus organisés autour de centralités commerciales locales, en étoile, avec des distances de déplacement moins importantes. Ce résultat reflète la tendance des personnes à privilégier le temps de parcours pour leurs achats, même si le modèle pourrait être affiné pour intégrer les différences de prix de certains produits selon les pays, notamment pour le carburant au Luxembourg.



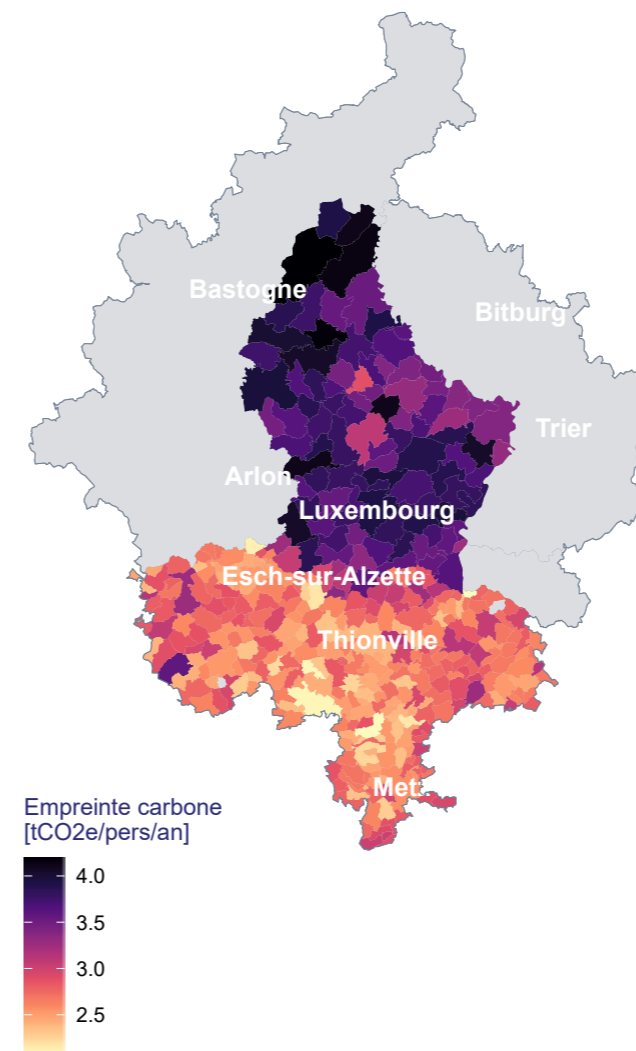
Flux de mobilité domicile – achats supérieurs à 10 personnes de la région fonctionnelle et de ses environs, pour l'année 2020.

## RÉSULTATS DE LA MODÉLISATION

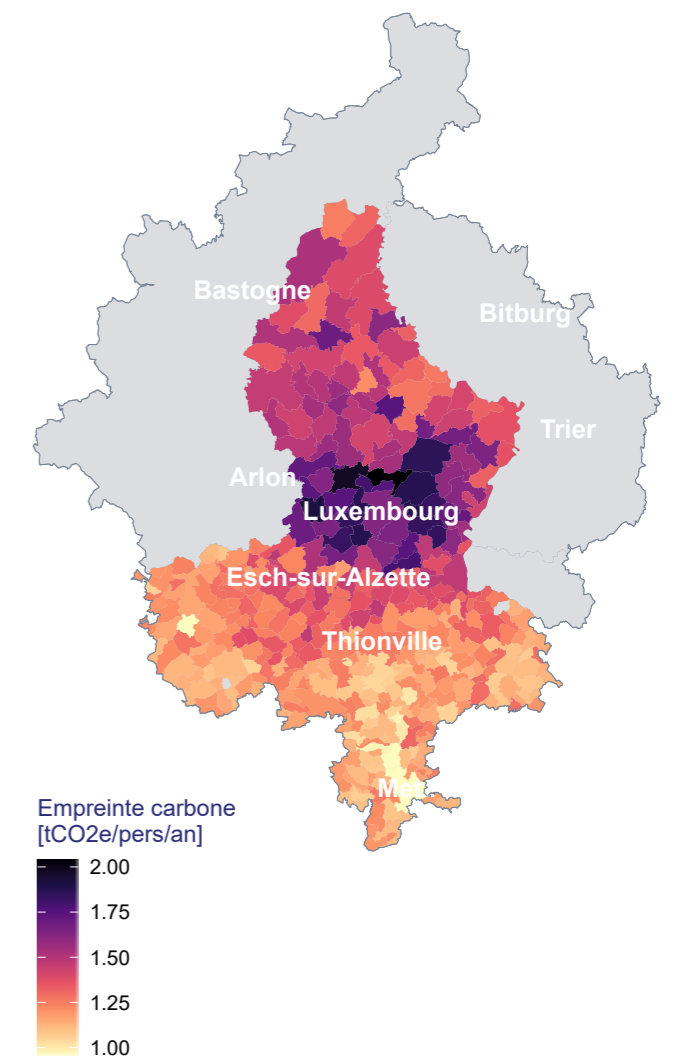
La cartographie de l’empreinte carbone de la mobilité par commune montre une différence marquée entre le Luxembourg et la France, qui révèle un recours accru à la voiture individuelle, avec de grosses dépenses d’équipement automobile. La différence entre territoires urbains et ruraux voit se compenser partiellement l’effet du niveau de vie, plus élevé dans les agglomérations urbaines, et l’effet des distances parcourues, plus élevées en milieu rural : on saisit bien ce phénomène des communes rurales du nord du Luxembourg, moins riches que celles de l’agglomération du Luxembourg mais avec un niveau d’émissions proche. Pour ce qui est de l’alimentation, le niveau de vie est en partie corrélé à la quantité de viande consommée, ce qui se retrouve donc bien reflété dans la carte des émissions.

Comme indiqué dans nos explications sur le modèle, la version 0.2 utilisée ici ne permet d’avoir des chiffres détaillés pour les communes de Belgique et d’Allemagne.

**Empreinte carbone moyenne par personne des transports**



**Empreinte carbone moyenne par personne de l'alimentation**



# RÉSULTATS DE LA MODÉLISATION

Au-delà de cette vision par commune, le modèle permet d'estimer les empreintes carbone d'habitants avec des caractéristiques variées : âge, catégorie socio professionnelle, taille du ménage... Pour chaque site étudié, nous générons donc un échantillon de population représentatif, et étudions l'effet de nos leviers d'action sur leur empreinte, aux dates clés de notre stratégie : état des lieux (2020), 2022, 2030 et 2050.

## Echantillon d'empreintes carbone

Empreinte de deux résidents de Luxembourg, pour l'année 2020, pour les postes de consommation finale

Age de la personne : 25-29  
 CSP personne ref. : Cadres dirigeants, professions intellectuelles  
 Nombre de personnes du ménage : 4  
 Empreinte : 12.6 tCO2/pers/an

Logement, eau, électricité, gaz et autres combustibles 3.2	Autres biens et services 0.6	Santé 0.4	
		Restaurants et hôtels 0.5	
Transports 3.5	Ameublement, équipement ménager et entretien courant de la maison 1	Articles d'habillement et articles chaussants 0.9	
		Loisirs et culture 1.2	Produits alimentaires et boissons non alcoolisées 1.1

Age de la personne : 75-79  
 CSP personne ref. : Retraité  
 Nombre de personnes du ménage : 1  
 Empreinte : 9.5 tCO2/pers/an

Logement, eau, électricité, gaz et autres combustibles 3.4	Autres biens et services 0.5	Loisirs et culture 0.5	Articles d'habillement et articles chaussants 0.1	Boissons alcoolisées et non 0.1
		Santé 0.2	Restaurants et hôtels 0.1	
Transports 1.8	Ameublement, équipement ménager et entretien courant de la maison 0.4			
	Produits alimentaires et boissons non alcoolisées 2.2			



## RÉSULTATS DE LA MODÉLISATION

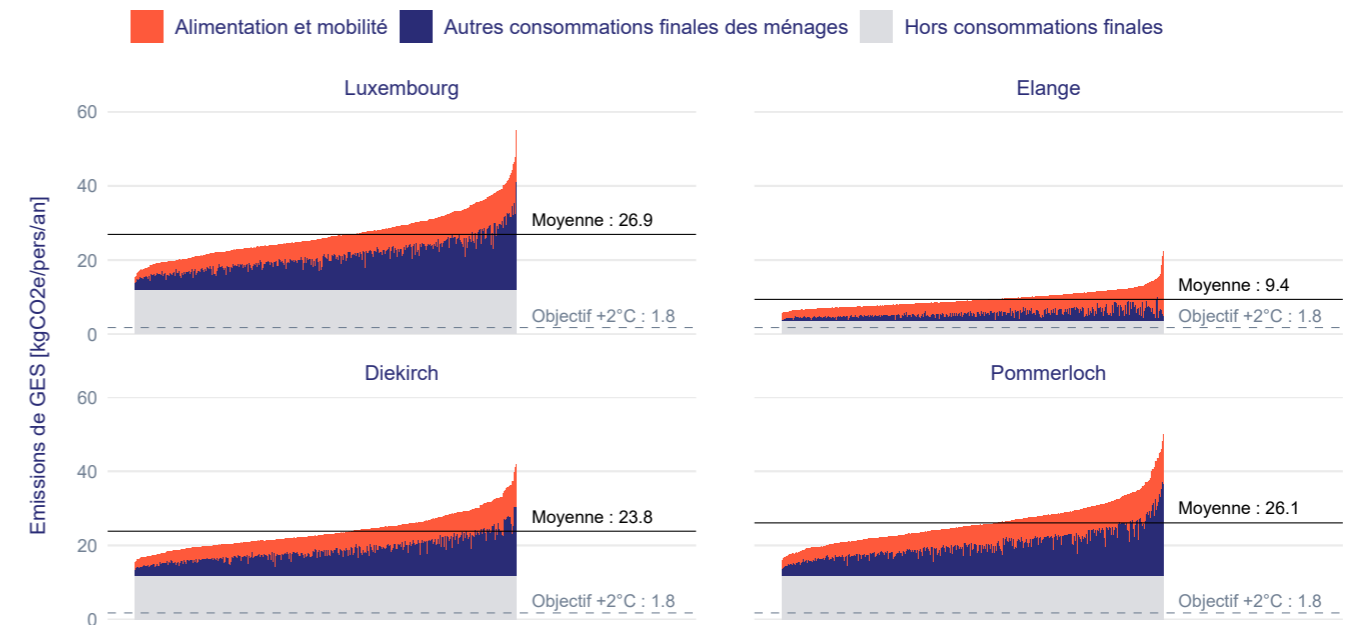
En 2020, les habitants de Luxembourg ont l’empreinte la plus élevée des quatre sites, à environ 27 tCO<sub>2</sub>e/pers/an, et ceux d’Elange l’empreinte la plus faible, de 9 tCO<sub>2</sub>e/pers/an. Les empreintes des habitants de Diekirch et Pommerloch s’élèvent à 24 et 26 tCO<sub>2</sub>e/pers/an, respectivement. Les personnes les plus émettrices de la population seraient approximativement deux fois plus émettrices que les personnes les moins émettrices, avec une influence importante du niveau de vie, de la catégorie socio-professionnelle et du nombre de personnes dans le ménage. Ce dernier point a un impact important sur l’empreinte du logement des personnes, notamment pour les couples dont les enfants quittent le domicile familial ou pour les personnes âgées, lors du décès du conjoint.

Si l’on enlève la part de l’empreinte les postes « hors consommations finales », qui sont imputés aux personnes mais qu’elles maîtrisent beaucoup moins (dépenses du gouvernement, des associations, formation de capital du pays...), la différence d’empreinte est encore plus marquée entre personnes les plus émettrices et les moins émettrices, le rapport d’émissions passant à 3.

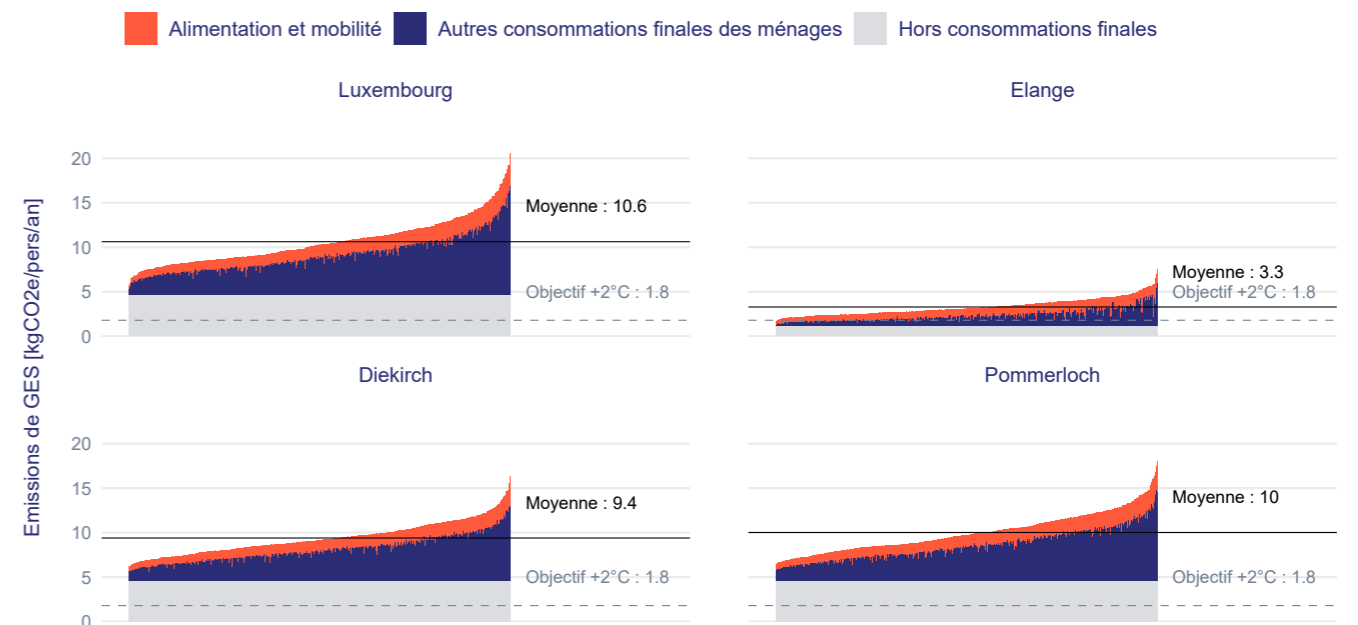
La part dans l’empreinte carbone des thématiques détaillées pour cette phase 2, la mobilité et l’alimentation, s’échelonne de 20 % à Luxembourg à 40 % à Elange, en passant par 25 % à Pommerloch et à Diekirch.

En 2050, avec les transformations du scénario f(lux) portant sur le périmètre mobilité et alimentation, l’empreinte carbone baisse fortement, de 60 % environ à Luxembourg, Diekirch et Pommerloch, et de 65 % à Elange. Aucun site n’atteint l’objectif de 1.8 tCO<sub>2</sub>e/pers/an, même si les habitants d’Elange s’en rapprochent en moyenne, à 3.3 tCO<sub>2</sub>e/pers/an, avec même 1 % des habitants qui atteignent la cible. Sans surprise, il faudra jouer sur l’ensemble des leviers à notre disposition, et non traités lors de cette phase, pour atteindre l’objectif.

Distribution de l’empreinte carbone sur les quatre sites en 2020  
Pour un échantillon de 500 personnes



Distribution de l’empreinte carbone sur les quatre sites en 2050  
Pour un échantillon de 500 personnes



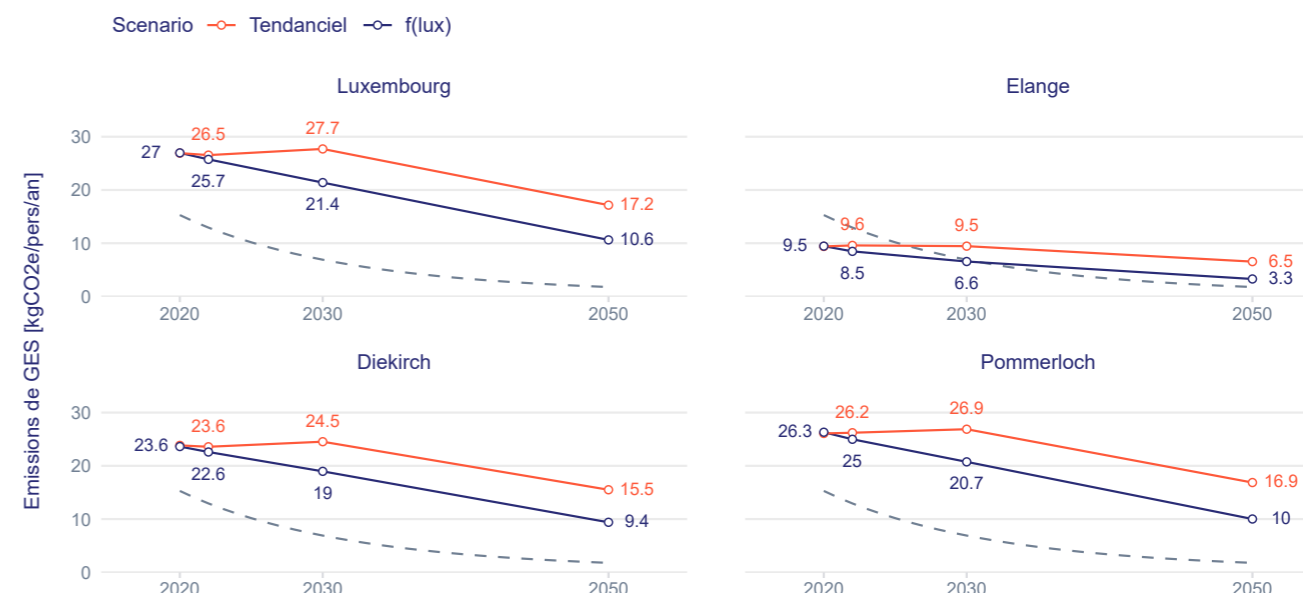
## RÉSULTATS DE LA MODÉLISATION

Il est important de comparer cette trajectoire de baisse à la trajectoire tendancielle, qui mène tout de même à une décarbonation, plus lente et qui ne commencerait qu'à partir de 2030. Le scénario f(lux) permet bien d'abaisser les émissions de manière significative par rapport à cette trajectoire tendancielle.

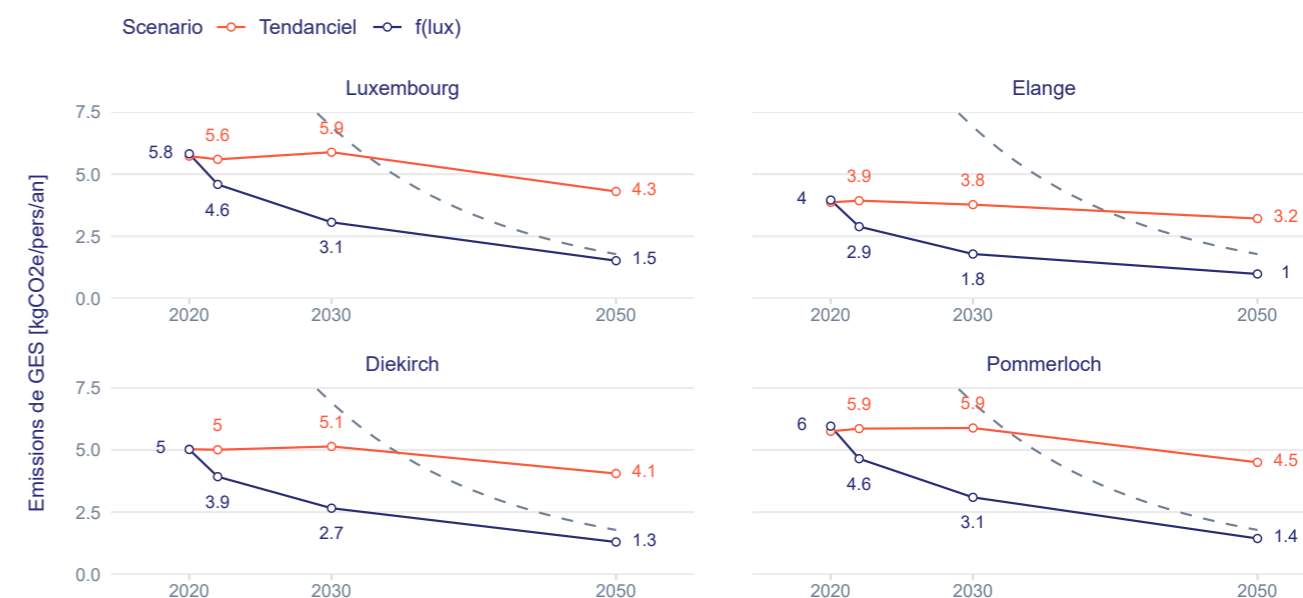
La comparaison avec la trajectoire objectif +2°C est également importante (figurée en pointillés sur le graphe suivant) : tout le temps passé au-dessus de la trajectoire doit être rattrapé par des baisses d'émissions plus importantes dans le futur, ou des séquestrations plus importantes. Elle permet de calculer notre métrique de la transition, proposée en phase 1, qui mesure le chemin parcouru entre un scénario d'inaction et l'objectif à atteindre : en 2050, elle s'élevait à 43 % pour Luxembourg, 46 % pour Diekirch et Pommerloch, et 69 % pour Elange.

L'analyse des empreintes carbone moyennes sur le périmètre alimentation et mobilité montre que le scénario f(lux) permet tout juste de rester sous la trajectoire +2°C en 2050. Le « reste à vivre » sur le budget carbone est très faible, de l'ordre de 100 à 500 kgCO<sub>2</sub>e/pers/an, dans lequel tous les autres postes de consommation devraient rentrer : logement, consommation de biens et de services, déchets... Il faudra donc pour atteindre l'objectif développer d'autres leviers ou augmenter le niveau d'ambition de ceux déjà proposés.

Evolution de l'empreinte carbone moyenne des habitants des quatre sites  
Tous postes confondus

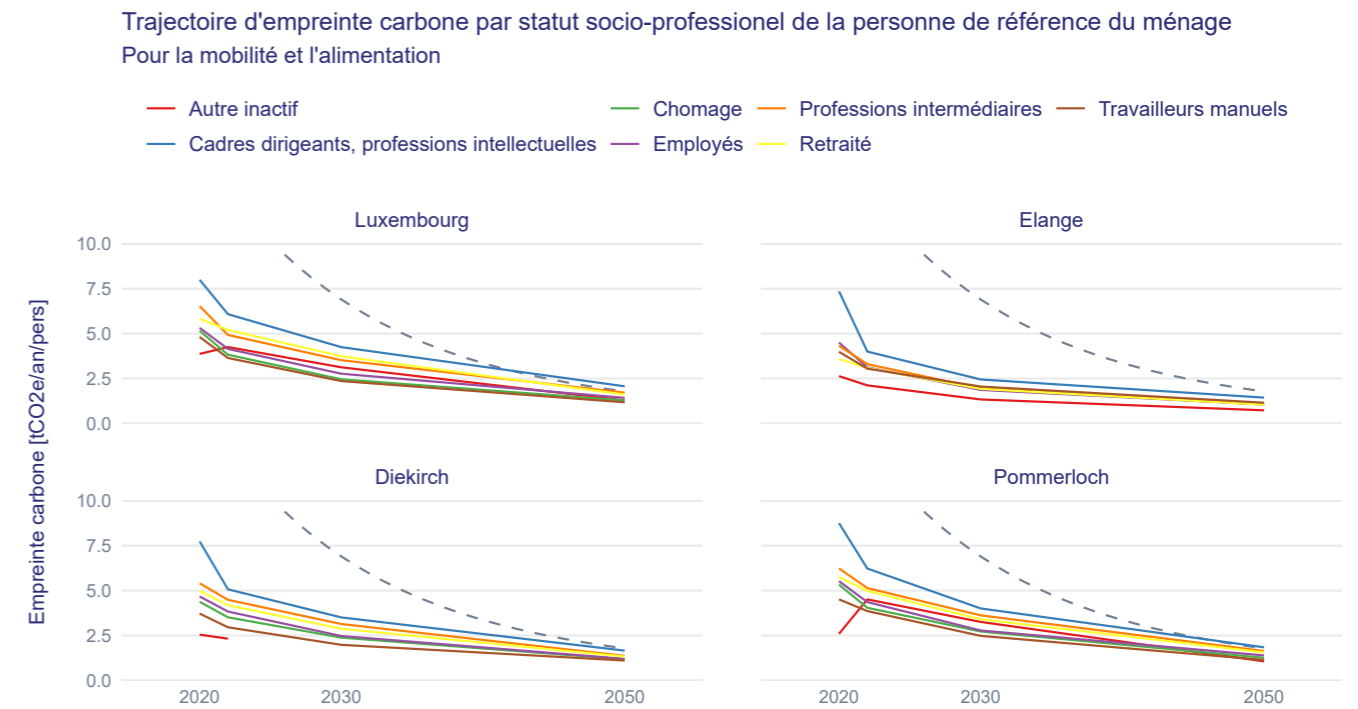


Evolution de l'empreinte carbone moyenne des habitants des quatre sites  
Sur le périmètre mobilité et alimentation



## RÉSULTATS DE LA MODÉLISATION

Ces trajectoires moyennes masquent des disparités individuelles importantes, qu'il est important d'explorer pour alimenter une stratégie de transition écologique juste et équitable. Une analyse par catégorie socio-professionnelle révèle par exemple une empreinte carbone environ 50 % plus élevée pour les cadres que pour les autres catégories, du fait notamment du transport aérien, plus courant dans cette partie de la population. La réduction du nombre de vol dès 2022 en fait ainsi la catégorie qui réduit proportionnellement le plus ses émissions.

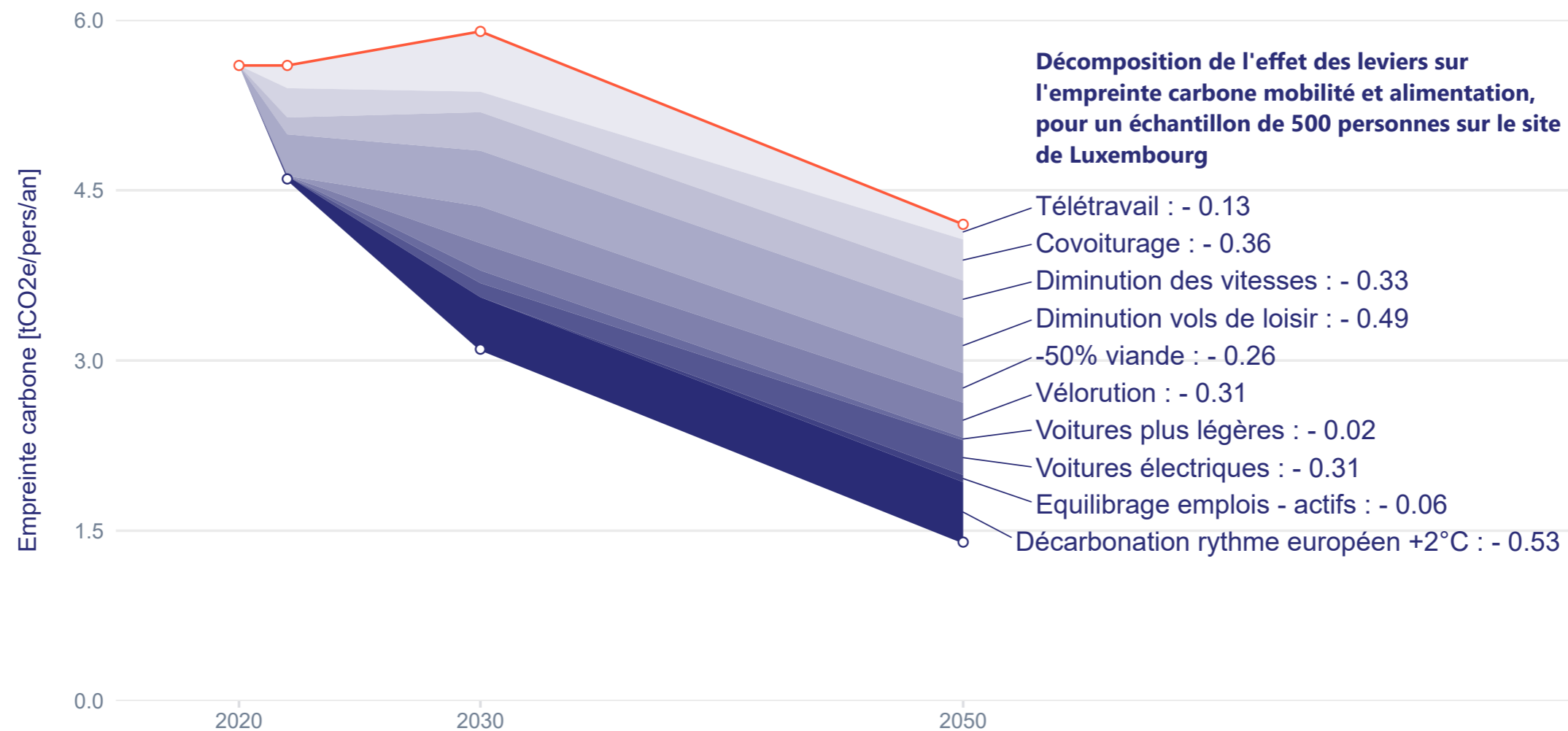


## RÉSULTATS DE LA MODÉLISATION

Enfin, nous pouvons analyser l'effet individuel de chaque levier pour passer du scénario tendanciel, dans lequel seul le contexte évolue vers un monde à +3°C, et le scénario *f(lux)*, dans lequel la région fonctionnelle transforme ses pratiques de mobilité et le monde s'engage dans une trajectoire compatible avec l'Accord de Paris.

L'effet des leviers varie en même temps que la population change. La proportion d'actifs dans la population va par exemple avoir tendance à diminuer avec le vieillissement de la population, ce qui influence logiquement sur l'efficacité du télétravail. Le nombre et les motifs de déplacement vont évoluer, et vont donc modifier dans le même temps leurs destinations, et donc leurs modes de transports associés.

La réduction du nombre de vols est le levier le plus important, immédiatement activable, dès 2022, tandis que l'équilibrage des emplois et des actifs a un effet plus modéré et à plus long terme, d'ici 2050. La décomposition de l'effet des leviers montre une fois de plus qu'il n'existe pas de solution miracle générant à elle seule toutes les réductions d'émissions nécessaires, et que la région fonctionnelle devra activer tous les leviers à sa disposition pour atteindre l'objectif de 1.8 tCO<sub>2</sub>e/pers/an en 2050.



# 5. Conclusion

## 5.1. CONCLUSION ET PERSPECTIVES POUR LA PHASE 3

**Le projet de Paysage Capital[e] est un plaidoyer pour une reconquête de l'usage raisonné du sol, comme ressource de la transition écologique.**

Les spécificités de la région fonctionnelle sont des atouts déterminants à saisir pour engager la décarbonation du territoire.

Jusqu'à présent décrié comme le plus mauvais élève de l'union Européenne en termes d'émission de GES, le Luxembourg et la région fonctionnelle ont une opportunité exceptionnelle pour engager l'union dans la transition écologique.

Les territoires issus de l'urbanisme carboné et qui traduisent des spécificités transfrontalières sont les futurs hauts lieux de la transition. Leur transformation sera l'expression d'une architecture post carbone qui s'autorégule, locavore, et légère.

L'urbanisation change alors de fonction, et pourquoi pas de nom. Il protège, intensifie les usages, accueille les fonctions vitales des sites habités et garantit un équilibre entre émission et séquestration.

Cette nouvelle étape a permis d'élaborer une stratégie spatiale d'intervention sur les sols sur mesure, basée sur un contexte singulier. Grâce aux actions sur la mobilité, sur la production agricole, la gestion de la forêt et le recours à l'architecture post carbone, une part significative du défi est relevée.



## CONCLUSION ET PERSPECTIVES POUR LA PHASE 3

### DÉMONSTRATEURS

Les 4 sites de projet ont fait l'objet d'une cartographie des actions spatialisées à engager. Ces cartographies expriment les transformations, les soustractions, les limites et les seuils à dessiner, ainsi que la mutation de certains territoires monofonctionnels qui sont à réintégrer dans la dynamique de projet de transition globale, comme les zones d'activités, les centres commerciaux etc... pour devenir les futurs hauts lieux de la transition, hybrides et équipant les territoires de toutes les ressources nécessaires pour répondre notamment à la production d'énergie, mais également à la mobilité. C'est là qu'entre en jeu l'architecture post carbone, qui pourra transformer le bâti, l'intensifier, à travers une démarche adaptative, résiliente et incertaine. La station-service d'aujourd'hui, sera la futur usine de méthanisation de demain, et reconnectera les territoires « desservants » aux territoires « servis »

Les 4 sites de projet proposés constituent pour nous les démonstrateurs de demain. Le travail d'approfondissement par la suite à mener avec les acteurs du territoire, sera l'occasion de dessiner l'empreinte géo-écologique de chaque site et de préciser le projet avec ceux qui l'habitent et le parcourent. La mise en récit que nous avons amorcée doit être appropriée par eux. Nous avons esquissé une première approche de l'échelonnement dans le temps du projet de transition à travers

un tableau qui décompose les actions à mener, et par types d'acteurs. Nous proposons d'approfondir ce travail dans la dernière phase de cette consultation, en appui de la Fresque de la renaissance écologique, qui

servira de guide et d'outil de mise en dialogue pour embarquer les acteurs de chaque démonstrateur dans le projet de transition.



## CONCLUSION ET PERSPECTIVES POUR LA PHASE 3

### MODÈLE 0.3

L'évolution du modèle 0.2 lors de cette phase a permis de donner une résolution spatiale et sociale détaillée aux estimations d'empreinte carbone, ce qui a permis de concevoir des stratégies de décarbonation efficaces et contextualisées. Cet affinage du modèle a permis d'intégrer finement 70 % de la population de la région fonctionnelle (sur les territoires du Luxembourg et de la France). Pour élargir le modèle à la totalité de la population, il faudra par la suite intégrer la Belgique et l'Allemagne, dans le cadre d'une nouvelle version du modèle, qui pourra être élaboré en phase 3.

Nous avons fait le choix assumé, dans cette présente étape, de concentrer les actions intégrées dans le modèle sur la mobilité et l'alimentation. Bien que le modèle 0.2 nous permet de parcourir une partie significative du chemin de la décarbonation pour 2050, nous proposons de compléter la modélisation par l'empreinte carbone du logement et plus généralement la stratégie de décarbonation du secteur de la construction, et également d'intégrer le projet de séquestration par la Forêt proposé dans le présent rapport.

### PAYSAGE CAPITAL[E] 2050

Le paysage capital[e] tel que nous le concevons pour la région fonctionnelle, réconcilie ville et campagne, lieux habités et territoires productifs. Ce paysage amplifié est la traduction de la mise en œuvre de coprésences multifonctionnelles : il favorise les échanges, la relation entre production, stockage, transformation et consommation. Il reconnecte les urbains à la biodiversité, et les consommateurs aux producteurs.

Le paysage de la région fonctionnelle demain est un paysage parcouru, traversés, accessible. Les célèbres « zones », d'activités, industrielles, économiques, habitées, fermées et hermétiques à d'autres formes d'usages que ceux pour lesquelles elles sont conçues, sont transformées.

Le territoire de la région fonctionnelle devient un territoire refuge, pour tout type de vivant.

C'est le Paysage capital[e] en 2050.





## L'équipe f(lux)

---

### **AREP**

Raphaël Ménard, Philippe Bihouix, Madeleine Masse, Grégoire Robida, Felix Pouchain, Antonia Bon, Kelissa Cartier, Selim Jouan, Servane Poisson

### **Taktyk**

Thierry Kandjee, Sebastien Penfornis, Simon Auperpin, Manon Bourdin, Ike Cherqui, Pauline Martin, Flavie Merger, Fanny Rames

### **Quattrolibri**

Julien Dossier

### **Institut de la transition environnementale Sorbonne Université (SU-ITE)**

Luc Abbadie, Jean-Jacques Perrier

### **Mobil'homme**

Marc-Antoine Messer

### **Maquette graphique et mise en page**

Claire Betoux

L'équipe f(lux) tient également à remercier Aurélien Bigo, ingénieur prospectiviste à l'ADEME et chercheur sur la transition énergétique des transports associé à la chaire Énergie & Prospérité, et Arnaud Passalacqua, professeur en aménagement de l'espace et urbanisme à l'école d'urbanisme de Paris (Lab'URBA/LIED), pour leurs contributions aux réflexions du groupement.

**Crédits photos :** Grégoire Robida / Madeleine Masse / Simon Auperpin  
**Cartes & schémas :** AREP + Taktyk