

An aerial architectural rendering of a sustainable urban development in Luxembourg. The image shows a grid of streets with modern, low-rise buildings. The streets are lined with trees, and there are green spaces and parks interspersed throughout the development. The overall design emphasizes a high quality of life and environmental sustainability.

Luxembourg in Transition

Paysage Capital

AREP
TAKTYK
QUATTROLIBRI
INSTITUT DE LA TRANSITION ENVIRONNEMENTALE
SORBONNE UNIVERSITÉ (SU-ITE)
MOBIL'HOMME

Luxembourg in Transition

Paysage Capital

L'équipe f(lux)

AREP

TAKTYK

QUATTROLIBRI

INSTITUT DE LA TRANSITION ENVIRONNEMENTALE

SORBONNE UNIVERSITÉ (SU-ITE)

MOBIL'HOMME

Préface

« Luxembourg in Transition », tel est le titre de la mission ambitieuse portée par le ministre de l'Aménagement du territoire et de l'Énergie, M. Claude Turmes. Pendant près de deux ans, avec nos partenaires¹, nous avons mené cette étude passionnante pour le Grand-Duché. Nous remercions chaleureusement Monsieur le ministre pour sa confiance, comme pour l'engagement et l'exigence des personnes ayant encadré notre travail au fil de ces mois.

L'objectif de cette étude prospective était de tracer une trajectoire de résilience et de décarbonation à horizon 2050 pour le Luxembourg et sa région fonctionnelle². Le défi est immense, tant pour la préservation des sols, que pour les émissions de gaz à effet de serre, avec, à date, l'une des empreintes carbone les plus élevées d'Europe³.

Face à l'urgence des défis environnementaux, cette mission est une référence, et fera – souhaitons-le – des émules pour beaucoup d'autres territoires. Cette étude a permis des rencontres passionnantes, la découverte de lieux inspirants et de situations à fort potentiel. À la frontière entre recherche et déclinaisons opérationnelles, cette mission a favorisé le développement d'outils nouveaux, comme f(lux), notre modèle numérique. Systémique, réactif, cet outil a accompagné notre réflexion et nos intuitions en analysant l'empreinte carbone à l'échelle du territoire.

En favorisant les allers-retours entre projet et métrique carbone, ce modèle faisait le lien entre les propositions et les « pesées écologiques », l'un des mantras de la méthode-projet d'AREP, au travers de notre démarche EMC2B.

Notre groupement n'était pas le seul à avoir la chance de mener cette réflexion. En effet, nous avons été sélectionnés à l'issue d'un processus en trois phases⁴, pour mener cette étude avec trois autres équipes finalistes⁵, chaque groupement devant travailler sur des axes thématiques complémentaires permettant de produire à l'horizon 2050 des scénarios de transition écologique.

Nous avons fait le choix de partager cette aventure et ses enseignements à travers cet ouvrage. Il a pour objectif de présenter nos travaux, axés sur trois thématiques centrales pour adapter l'aménagement de la région au changement climatique, atténuer ses émissions et organiser son mode d'occupation du territoire :

1. l'arrêt de l'artificialisation des sols et l'adaptation du patrimoine bâti existant ;
2. la transition du patrimoine agroforestier avec la diversification, l'extension et la connexion des milieux forestiers, d'une part, et la transformation du modèle d'exploitation agricole, d'autre part, pour en réduire l'empreinte ;
3. et, enfin, la décarbonation de la mobilité des personnes⁶.

Ces trois thèmes ne résument pas l'intégralité des transformations à entreprendre, mais ils présentent déjà des solutions pour réduire l'empreinte carbone de la région d'environ 60 % à horizon 2050⁷. Et ils nous permettent surtout de donner une vision d'un avenir désirable et soutenable : quelques propositions esthétiques, techniques et politiques d'un futur post-carbone...

Raphaël Ménard,
président du directoire d'AREP
et Philippe Bihoux,
directeur général d'AREP

¹ AREP a mené la mission en groupement avec Taktyk, Quattrolibri, Mobil'Homme et l'Institut de transition environnementale de la Sorbonne.

² La région fonctionnelle est une région définie dans le cadre de la consultation, regroupant en plus du Luxembourg des parties des territoires de la France, de l'Allemagne et de la Belgique correspondant à l'aire métropolitaine transfrontalière luxembourgeoise. La définition de ce périmètre se base sur la combinaison de deux critères. Sont considérées toutes les communes ayant un taux de travailleurs frontaliers par rapport à la population résidente supérieur à 4 % ainsi que celles qui comptent un minimum de 1 000 travailleurs frontaliers.

³ Cela est dû à de nombreux facteurs liés notamment au niveau de vie élevé et au mode de vie transfrontalier. L'empreinte carbone du Luxembourg est de 23,5 t_{eq}CO₂/hab./an, soit environ le double de l'empreinte française par habitant.

⁴ Le processus de sélection s'est fait en trois phases :
– une première phase consistant à sélectionner dix équipes internationales parmi une trentaine de

candidatures pour participer à la première étape du projet (mise en place d'une métrique de la transition et identification des axes de travail thématiques) ;

– une deuxième phase consistant à effectuer une nouvelle sélection de six équipes internationales parmi les dix premières équipes pour poursuivre la réflexion sur la stratégie de décarbonation de la région fonctionnelle en lien avec la métrique choisie ;
– une troisième et dernière phase de sélection consistant à choisir les quatre dernières équipes devant finaliser le schéma directeur de transition de la région fonctionnelle et devant également travailler sur des projets pilotes phasés dans le temps.

⁵ Les quatre équipes finalistes sont : AREP, MVRDV, Université du Luxembourg et 2001 Architects.

⁶ Le rapport définitif de l'équipe AREP est consultable en ligne sur le lien suivant : https://luxembourginttransition.lu/wp-content/uploads/2022/02/AREP_Luxembourg-en-Transition_Phase_3_compressed.pdf

⁷ Contre 20 % pour le scénario tendanciel.

P. 07 **Introduction**

P. 14 **Synthèse des phases 1 à 3**

1

P. 21 **Manifeste :
Le Paysage Capital**

p. 22 **1.1 UN PATRIMOINE BÂTI
RÉINVESTI**

p. 24 **1.2 UN CAPITAL AGROFORESTIER
PRÉSERVÉ ET AMPLIFIÉ**

p. 26 **1.3 DES MOBILITÉS
DÉCARBONÉES**

2

P. 29 **Stratégie de transition
pour la région
fonctionnelle
luxembourgeoise**

p. 31 **2.1 INTENSIFIER L'USAGE
DU PATRIMOINE BÂTI**

p. 43 **2.2 PRÉSERVER, AMPLIFIER
ET DIVERSIFIER LE PATRIMOINE
AGROFORESTIER**

p. 63 **2.3 SE DÉPLACER
SANS ÉNERGIES FOSSILES**

3

P. 101 **Projets
démonstrateurs**

p. 102 **CADRAGE**

p. 106 **ZOOM 1 : GASPERICH**

p. 118 **ZOOM 2 : CLOCHE D'OR**

p. 130 **ZOOM 3 : Z.A. CLOCHE D'OR**

p. 140 **ZOOM 4 : CLAIRIÈRE FORESTIÈRE**

p. 152 **ZOOM 5 : COURONNE NOURRICIÈRE**

p. 168 **VERS UN MONITORING DES
PROJETS DÉMONSTRATEURS**

P. 171 **Conclusions**

Introduction



Quel aménagement du territoire pour atteindre la neutralité carbone à horizon 2050 ?

REPENSER L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE À L'ÈRE DE L'ANTHROPOCÈNE

Comment vivre quasiment sans énergies fossiles à horizon 2050 ? Comment adapter le patrimoine bâti, l'organisation et les infrastructures de la région fonctionnelle luxembourgeoise pour permettre à ses habitants de préserver leur cadre et leur qualité de vie tout en réduisant drastiquement leur empreinte carbone ? Comment préserver et amplifier le potentiel de séquestration carbone de ce territoire pour atteindre la neutralité en 2050 ?

L'empreinte carbone de la région fonctionnelle s'établit en 2020 à 16,1 tCO₂e/personne/an (24,5 pour le Luxembourg). Notre hypothèse de départ, confortée par de nombreux travaux prospectifs¹ ainsi que par notre modèle f(lux), est que les évolutions technologiques ne suffiront pas à elles seules à atteindre la neutralité carbone à horizon 2050. La pente est trop raide, l'échéance trop proche. En outre, le changement climatique n'est pas le seul enjeu de la crise écologique actuelle, et les solutions purement technologiques peinent en général à intégrer l'ensemble des limites planétaires (érosion de la biodiversité, déforestation, cycles du phosphore et de l'azote...). **La sobriété des usages et des modes de vie s'impose donc comme un passage obligé pour concevoir une réponse à la hauteur de la crise écologique.**

¹ Voir par exemple à ce sujet <https://www.iea.org/articles/do-we-need-to-change-our-behaviour-to-reach-net-zero-by-2050>

Cette sobriété ne doit cependant pas peser sur les seuls individus, et suppose une profonde adaptation du territoire et de ses infrastructures, afin de rendre possibles, faciles et même désirables des modes de vie décarbonés. Dans le domaine de la mobilité, comment, par exemple, encourager l'usage du vélo si le réseau pour le pratiquer n'est que peu développé ? Comment sortir de la dépendance à l'automobile si les distances à parcourir pour les besoins du quotidien sont démultipliées par l'étalement des bassins de vie, le zonage des fonctions et le mitage des espaces urbanisés ?

L'aménagement du territoire constitue donc un levier essentiel de la transition. Il conditionne les pratiques de mobilité des individus, fixe l'espace laissé ou au contraire retiré au vivant, détermine la localisation des programmes et leurs règles d'implantation... Il forme une matrice fondamentale, susceptible de freiner ou au contraire d'accélérer l'évolution des modes de vie nécessaire à la tenue des objectifs climatiques du Luxembourg et de sa région fonctionnelle.

Comme l'a écrit Marshall McLuhan, « Nous façonnons nos outils, et ceux-ci, à leur tour, nous façonnent. » (Understanding Media, 1964). L'aménagement du territoire, en tant que réseau complexe

d'outils et d'infrastructures (bâtiments, réseaux de transport, d'énergie ou de communication...), façonne lui aussi nos modes de vie autant que nous le façonnons. À nous d'inventer le type d'aménagement qui nous aidera en retour à respecter nos objectifs climatiques.

IL FAUT QUE TOUT CHANGE POUR QUE RIEN NE CHANGE

Les doctrines d'aménagement héritées du XX^e siècle révèlent cependant leurs limites pour répondre à cet objectif. **Il nous faut désormais (ré)apprendre à vivre sans énergies fossiles, (re)donner une place au vivant** - qui nous « environne » autant qu'il nous compose - **préparer nos vies, nos organisations et nos territoires à un climat instable, plus violent et incertain.**

C'est un défi redoutable pour nos sociétés, mais aussi potentiellement enthousiasmant. L'enjeu n'est pas de retourner à un aménagement du territoire prémoderne fantasmé, ni de créer *ex nihilo* une cité idéale parfaitement écologique, mais bien de composer avec l'aménagement du territoire que nous avons reçu en héritage, pour le transformer et l'adapter à de nouvelles contraintes. **Habitat, transports, agriculture, travail... tout est à repenser à l'aune de défis d'ampleur géologique.** Comme dans *Le Guépard* de Luchino Visconti, « il faut que tout change pour que rien ne change ».

Le « ménagement » du territoire du XXI^e siècle, celui qui nous permettra de composer avec les limites inhérentes à l'Anthropocène, reste encore largement à inventer. Nous espérons que cette étude pourra contribuer, à son échelle, à en préciser les outils.

L'aménagement du territoire est une matrice susceptible de freiner ou au contraire d'accélérer la transition des modes de vie.

Quel aménagement du territoire pour atteindre la neutralité carbone à horizon 2050 ?

Dans le cadre de cette étude, nous avons choisi de focaliser nos recherches sur trois thématiques centrales

pour adapter l'aménagement de la région fonctionnelle luxembourgeoise au changement climatique et atténuer ses émissions : l'adaptation du patrimoine bâti, la transition du patrimoine agroforestier, et enfin la décarbonation de la mobilité des personnes - trois enjeux ne résumant bien sûr pas à eux seuls l'ensemble des transitions à entreprendre.

Ce rapport final est divisé en trois parties.

- **Un manifeste**, synthétisant en seize actions clés notre vision pour la transition écologique de la région fonctionnelle luxembourgeoise.
- **Une vision stratégique pour la région fonctionnelle luxembourgeoise**, déclinée selon nos trois axes de recherche.
- **Un volet tactique**, présentant les esquisses de projets démonstrateurs sur cinq sites au sud-ouest de Luxembourg-Ville.

STOPPER L'ARTIFICIALISATION DES SOLS ET RÉINVESTIR LE PATRIMOINE BÂTI

Notre premier thème de recherche, centré sur l'objectif de « zéro artificialisation brute », constitue un préalable à l'ensemble de notre stratégie. En effet, la préservation

et l'amplification du potentiel de séquestration carbone des espaces ouverts supposent avant toute chose de stopper leur artificialisation. De même, la maîtrise de l'empreinte carbone des mobilités impose de freiner l'étalement de l'aire urbaine luxembourgeoise et de densifier ses tissus existants.

Cette ambition de « construire la ville sur la ville » en faisant évoluer le bâti existant et en densifiant les terrains déjà artificialisés suppose cependant un important travail d'accompagnement et d'évolution des pratiques, que nous esquissons dans la partie 2.1 de ce rapport.

PRÉSERVER LE CAPITAL AGRO-FORESTIER ET RENFORCER SON POTENTIEL DE SÉQUESTRATION CARBONE

Réduire l'artificialisation des sols n'est cependant qu'un préalable. La préservation et l'amplification du potentiel de séquestration des milieux ouverts nécessitent d'assurer leur multifonctionnalité et leur diversité.

Les modes d'exploitation et de production doivent évoluer vers des productions plus écologiques, relocalisées. La diversification forestière, le redéploiement d'une filière bois adaptée ainsi que l'agroforesterie sont des outils précieux pour concilier intensification de la séquestration carbone des territoires, réduction des émissions et résilience des écosystèmes.

Nous développons ces pistes de travail en partie 2.2.

DÉCARBONER LES MOBILITÉS

Représentant environ 15 % de l'empreinte carbone totale de la région fonctionnelle, la mobilité des personnes est un secteur majeur d'atténuation des émissions de GES.

Notre stratégie pour parvenir à les réduire s'appuie sur trois axes.

- **La transformation de la demande, par le biais d'évolutions programmatiques et organisationnelles** : il ne s'agit pas seulement de réduire les kilomètres à parcourir mais de substituer à des trajets longs et émissifs des trajets courts et très peu carbonés.
- **La transformation des infrastructures et espaces publics** qui maillent la région fonctionnelle luxembourgeoise, afin de sortir d'un modèle encourageant l'usage de la voiture pour tendre vers un modèle favorisant les mobilités les moins carbonées.
- **Et, enfin, l'évolution du cadre réglementaire et législatif**, afin de lever les freins à la transition et de mettre en place les incitatifs nécessaires pour l'accélérer.

Nous abordons ce troisième thème dans la partie 2.3.

L'empreinte carbone moyenne d'un Luxembourgeois est d'environ 24,5 tCO₂e/personne/an (données Exiobase pour l'année 2018), soit, rapporté en poids, l'équivalent de 24 voitures citadines.



Le modèle f(lux)

Quantifier les émissions de gaz à effet de serre paraît simple, de prime abord.

Il s'agit d'une quantité physique que l'on connaît bien, d'une masse de gaz additionnelle dans l'atmosphère que l'on pourrait soupeser régulièrement, aussi simplement que l'on pourrait lire la température sur un thermomètre pour savoir si le climat va se réchauffer. Nous effectuons d'ailleurs bien des mesures à l'observatoire du Mauna Loa, sur l'île de Hawaï, et ce depuis 1958, voyant la concentration de dioxyde de carbone passer de 315 à plus de 410 parties par million entre cette date et aujourd'hui. Les choses se corsent cependant rapidement si l'on veut tracer les causes de cette évolution : le cycle du carbone en mouvement dans le système Terre entre atmosphère, lithosphère, cryosphère, biomasse et océans forme un phénomène extrêmement complexe en soi, dans lequel la civilisation industrielle en croissance pèse de plus en plus lourd, dotée d'une puissance dépassant même celle de certains processus naturels¹.

Si l'on zoome encore, notre technosphère est constituée d'une multitude de territoires, de producteurs et d'utilisateurs, de secteurs économiques, de processus industriels, d'organisations de toutes sortes, habités par des machines et des personnes dont le fonctionnement et les décisions se manifestent en bout de chaîne par l'émission ou la séquestration de plus

¹ Une comparaison notamment établie dans le livre de John R. McNeill, de 2010, *Du nouveau sous le soleil – une histoire de l'environnement mondial au XX^e siècle*.

ou moins de gaz à effet de serre. **Nous ne serons probablement jamais en mesure de décrire complètement ce système complexe, ni de le contrôler totalement.** Après trente ans de reporting pour le protocole de Kyoto, nous ne savons toujours pas exactement combien de gaz à effet de serre les pays signataires émettent, sans même parler du détail par secteur ou par territoire².

Dans ces conditions, comment agir pour limiter le réchauffement climatique à une hausse de 2 degrés, quand notre carte du système est aussi imprécise et changeante ?

Comment décliner concrètement des objectifs aussi englobants, de manière opérationnelle, spatialisée, planifiée dans le temps, pour savoir comment aménager, construire, transformer, réguler, comprendre le niveau d'effort nécessaire ?

Dans le cadre de Luxembourg in Transition, nous nous sommes appuyés sur un modèle construit pour faire le lien entre une métrique centrale, l'empreinte carbone des habitants de la région fonctionnelle du Luxembourg et les causes les plus importantes expliquant la taille de cette empreinte. Nous avons essayé d'aller au-delà d'un modèle descriptif, qui partitionne l'empreinte carbone par secteurs et sous-secteurs, auxquels on applique des objectifs de moyens

² Voir sur le sujet l'enquête du *Washington Post* : « Countries' climate pledges built on flawed data, Post investigation finds ». <https://www.washingtonpost.com/climate-environment/interactive/2021/greenhouse-gas-emissions-pledges-data/>

relativement flous mais des objectifs de résultats fixes, et qui respectent donc nécessairement l'objectif global. Nous avons au contraire essayé de comprendre la diversité des profils et des empreintes carbone des habitants, de remonter aux fondamentaux des comportements de mobilité (opportunités à proximité, vitesse des différents modes de transport...), de détailler les usages et les besoins de surface des logements, ainsi que leurs performances thermiques, de lier le phénomène d'artificialisation à la croissance démographique et économique de la région...

Nous avons pu ainsi estimer l'effet de nos propositions de transition pour le bâtiment, la mobilité, l'alimentation, l'agriculture, les sols et la forêt, à la fois de manière globale pour la région fonctionnelle, à l'échelle qui compte pour juger de la compatibilité avec la trajectoire +2°C, et de manière locale, à l'échelle qui compte pour agir au niveau de la commune et du projet urbain. Notre modèle n'est ni définitif, ni exempt des incertitudes inévitables de ce type d'exercice. Ce que nous proposons à travers ce modèle est un outil et une vision quantitative du système étudié, appelés à être révisés, améliorés, complétés et ancrés encore davantage dans le réel par un travail de terrain et d'enquête indispensable. **Un outil qui aide tous les acteurs du système, et plus particulièrement ceux qui façonnent l'aménagement du territoire et l'urbanisme, à engager une transition à la hauteur de l'urgence climatique.**

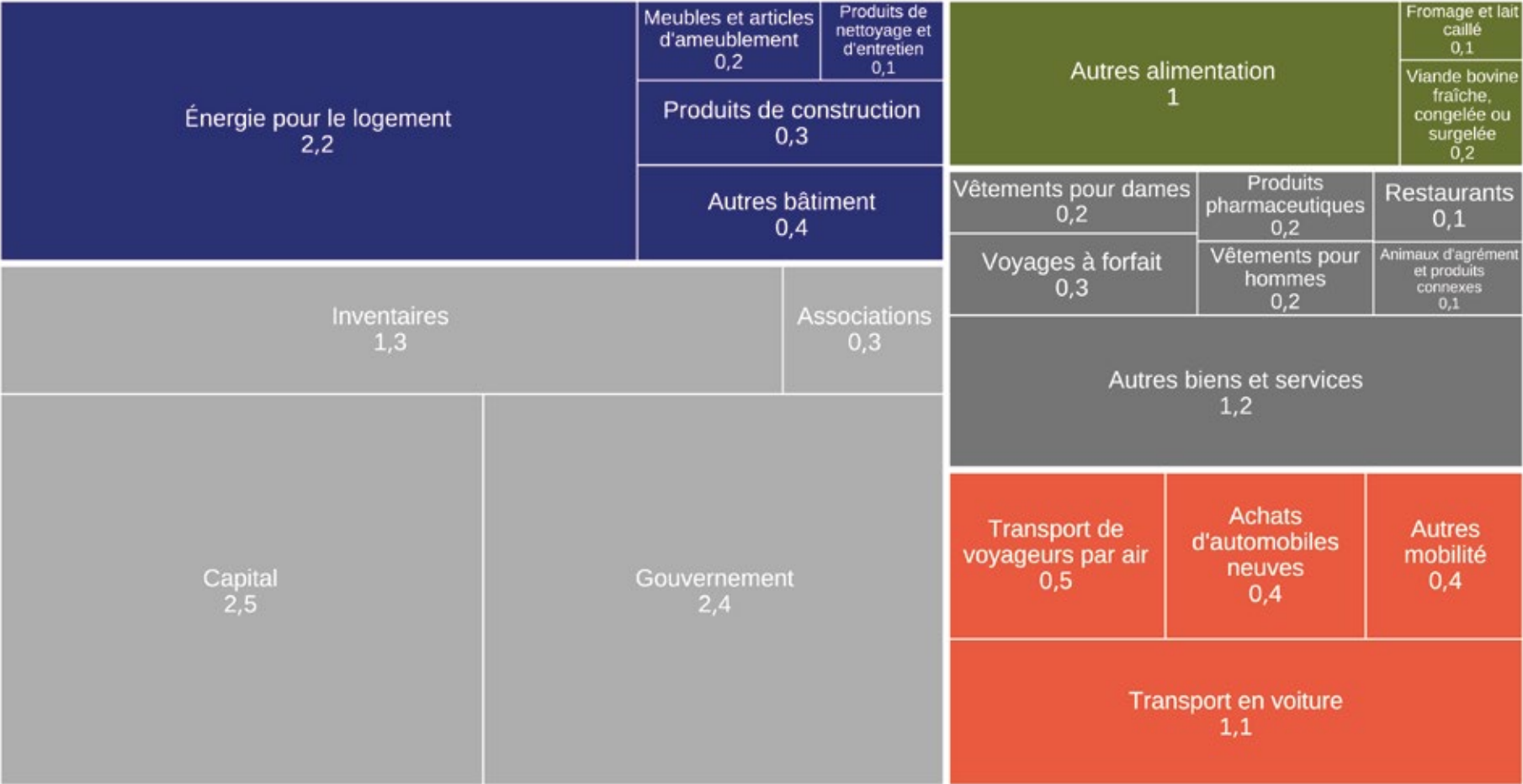
Quantifier les émissions de gaz à effet de serre paraît simple, de prime abord...

Les principaux résultats du modèle f(lux) peuvent être retrouvés sur les pages à fond rose à la fin de chaque sous-partie.

Empreinte carbone de la région fonctionnelle en 2020

16,1 tCO₂e/personne/an

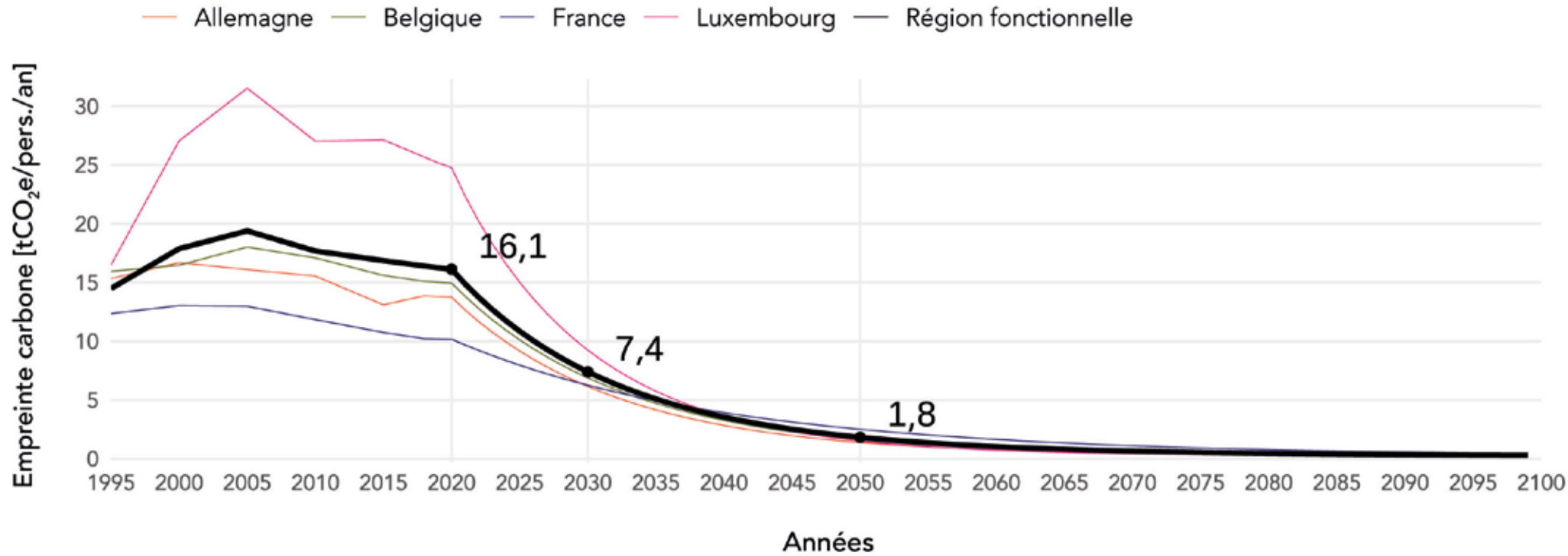
SUR LE PÉRIMÈTRE DE LA RÉGION FONCTIONNELLE



Répartition de l’empreinte carbone de la région fonctionnelle en 2020 par poste de consommation finale (en tCO₂e/pers./an).

Objectif d'empreinte carbone par personne dans un scénario + 2°C

En tCO₂e/pers./an, sur le périmètre région fonctionnelle et sur les sous-parties de la région fonctionnelle.



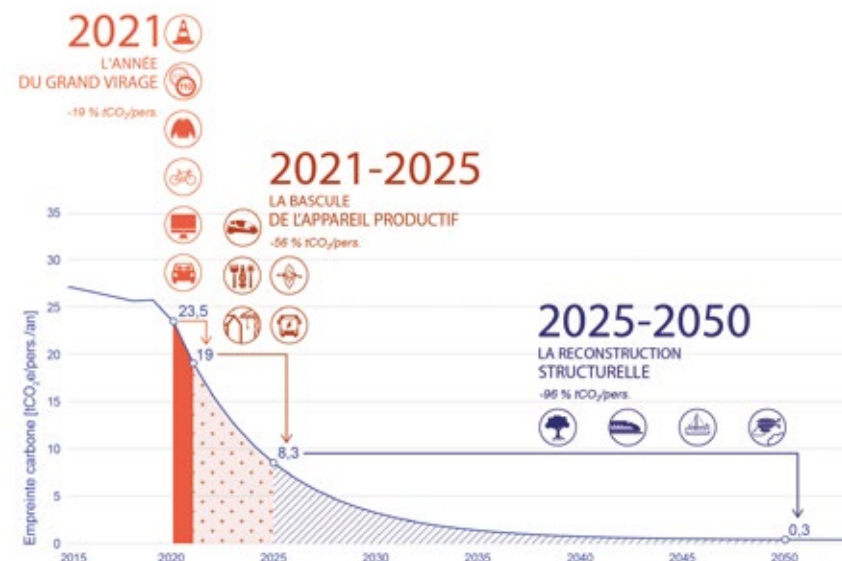
Synthèse des phases 1 à 3

Synthèse de la phase 1

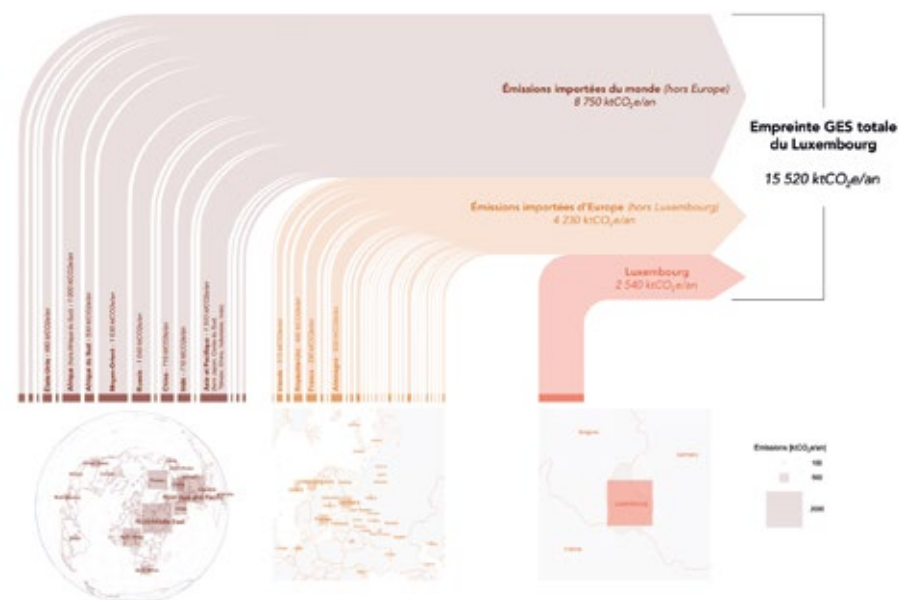
LORS DE LA PREMIÈRE PHASE DE LA CONSULTATION, L'ÉQUIPE F(LUX) S'EST ATTACHÉE À DRESSER UN ÉTAT DES LIEUX DE LA RÉGION FONCTIONNELLE LUXEMBOURGEOISE ET À POSER LES JALONS DE SA MÉTHODOLOGIE POUR LES DEUX PHASES SUIVANTES.

L'état des lieux a fait émerger un diagnostic de la région fonctionnelle centré sur trois thématiques.

- L'analyse de l'empreinte carbone du Luxembourg, en tenant compte en particulier de l'empreinte des biens et services importés depuis d'autres régions du monde (représentant au total environ 80 % de l'empreinte globale des résidents luxembourgeois en 2018).
 - L'état des lieux de la séquestration carbone par les milieux ouverts au Luxembourg, afin d'évaluer son état actuel et son potentiel d'augmentation à horizon 2050, de manière à estimer l'effort à fournir côté émissions pour viser la neutralité carbone du Grand-Duché.
 - L'état des lieux des pratiques de mobilité au sein de la région fonctionnelle luxembourgeoise, afin de mieux comprendre leurs spécificités et leur impact en termes d'empreinte carbone.
- Suite à cet état des lieux, nous avons posé les jalons de la méthodologie utilisée au cours des phases suivantes.
- Définition du périmètre, du rythme et de l'indicateur de suivi de la transition pour la métrique carbone, de façon à être en capacité d'évaluer le potentiel de décarbonation de chacun de nos scénarios de transition et son niveau d'alignement avec les objectifs climatiques.
 - Analyse de l'empreinte carbone des mobilités domicile-travail luxembourgeoises et de leur répartition par sociotype, à l'aide d'une première version de notre outil de modélisation dédié, le modèle f(lux).
 - Esquisse des leviers à activer pour renforcer la séquestration du carbone par les sols, en s'appuyant sur une compréhension fine des dynamiques de séquestration des différents types de sol et de milieu.
 - Phasage de la transition selon trois grandes séquences (court terme/moyen terme/long terme), afin de donner à lire les jalons de la transition et de définir les premières actions à mettre en œuvre dès 2022.



Évolution de l'empreinte carbone par personne dans un scénario +1.5°C.



Répartition de l'empreinte carbone du Luxembourg par pays d'importation.

Synthèse de la phase 2

LA PHASE 2 NOUS A PERMIS D'APPROFONDIR NOTRE VISION POUR LA RÉGION FONCTIONNELLE LUXEMBOURGEOISE ET DE TESTER NOTRE APPROCHE AU TRAVERS DE QUATRE SITES D'ÉTUDE.

Notre vision stratégique pour la région fonctionnelle luxembourgeoise a été déclinée au travers de quatre leviers d'action.

- **Décarboner les mobilités**, en transformant l'affordance du territoire pour faciliter l'évolution des modes de vie vers des déplacements moins longs et moins carbonés.
- **Inventer un nouvel urbanisme agricole**, en profitant de la nécessaire évolution des régimes alimentaires pour définir de nouveaux paysages agricoles et renforcer l'autonomie alimentaire du Luxembourg.
- **Réinvestir les forêts**, en esquissant les actions à mettre en œuvre pour renforcer leur résilience au changement climatique et optimiser leur potentiel de séquestration carbone.
- **Tendre vers un principe de zéro artificialisation brute**, en intensifiant intelligemment l'usage du bâti existant et en luttant contre l'obsolescence des constructions, pour préserver le précieux capital agricole et forestier de la région fonctionnelle luxembourgeoise.

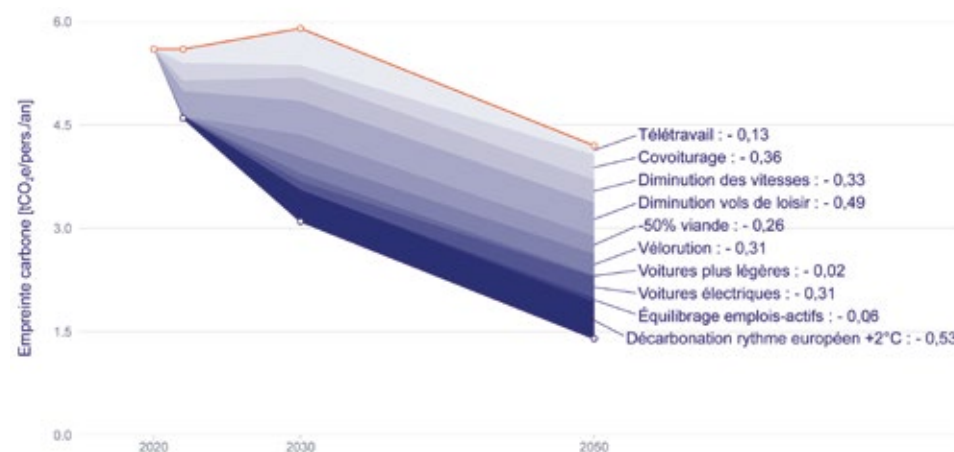
Cette approche stratégique a ensuite été déployée sur quatre études de cas, incarnant chacun une typologie représentative de la région fonctionnelle luxembourgeoise et une problématique de transition spécifique.

- **À Elange**, nous avons exploré la transformation d'une zone pavillonnaire satellite en un lieu de vie hybride, propice aux mobilités de courte distance.
- **À Pommerloch**, nous avons esquisé la stratégie de transition post-pétrole d'une zone commerciale isolée et particulièrement dépendante des flux transfrontaliers.
- **À Diekirch**, nous avons imaginé la vallée productive de demain en nous appuyant sur une transition des sols (agriculture, forêts) et de leurs modes d'exploitation.
- **À Luxembourg-Ville**, nous avons cherché les moyens de renforcer l'autosuffisance alimentaire et la résilience de la ville capitale.

Enfin, le potentiel de décarbonation de ces stratégies a été modélisé grâce au modèle f(lux), aussi bien à l'échelle de la région fonctionnelle qu'à celle de nos quatre sites d'étude, avec un niveau de définition permettant de descendre jusqu'aux ménages composant chaque commune.



Autoroute A31 à hauteur d'Elange, vision 2030.



Décomposition de l'effet de levier sur l'empreinte carbone mobilité (pour un échantillon de 500 personnes sur le site de Luxembourg).



Elange : du quartier satellite au lieu de vie hybride.

Synthèse de la phase 3

EN PREMIÈRE PARTIE DU RAPPORT, NOTRE MANIFESTE SYNTHÉTISE EN 16 ACTIONS CLÉS NOTRE VISION POUR LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE DE LA RÉGION FONCTIONNELLE LUXEMBOURGEOISE.

Un patrimoine bâti réinvesti

- 1. Sanctuariser les espaces non imperméabilisés** au service de la production alimentaire, de la résilience des écosystèmes et de la séquestration du carbone (principe du « zéro artificialisation brute »).
- 2. Assurer la rénovation énergétique de l'ensemble du patrimoine bâti et intensifier son usage** pour réduire le besoin de constructions neuves.
- 3. Transformer les programmes voués à l'obsolescence** en des lieux ressources au service de la transition.
- 4. Densifier les espaces déjà artificialisés** pour utiliser les mètres carrés à construire comme des leviers d'adaptation des territoires à un monde sans énergies fossiles.
- 5. Conditionner toute construction neuve à la compatibilité avec la transition.**

Un capital agroforestier préservé et amplifié

- 1. Étendre et connecter les milieux peu anthropisés** pour favoriser la résilience des écosystèmes.

- 2. Diversifier les essences plantées** pour renforcer la résilience des forêts face au changement climatique.
- 3. Développer l'agroforesterie** et relocaliser la filière bois pour renforcer le potentiel de séquestration carbone de la région fonctionnelle luxembourgeoise.
- 4. Faire évoluer l'agriculture au service d'une alimentation moins carnée et d'une production locale**, afin de réduire son empreinte carbone et son empreinte spatiale.
- 5. Désimperméabiliser et végétaliser les tissus urbains** pour les adapter au changement climatique et améliorer le cadre de vie des habitants.
- 6. Mettre en réseau les paysages** et renforcer leur accessibilité pour sensibiliser à leur préservation et favoriser un tourisme de proximité.

Des mobilités décarbonées

- 1. Moratoire sur la construction de nouvelles routes non essentielles.**
- 2. Réduire les vitesses** sur l'ensemble du réseau routier.
- 3. Adapter la programmation urbaine** pour réduire la demande de mobilité.
- 4. Rééquilibrer le partage modal des espaces publics** et adapter le réseau viaire.
- 5. Mettre en place les mesures réglementaires et fiscales** nécessaires pour accélérer la transition.



Forêt de Kockelscheuer.

Synthèse de la phase 3

DANS LA SECONDE PARTIE DU RAPPORT, NOUS DÉVELOPPONS NOTRE VISION STRATÉGIQUE POUR LA RÉGION FONCTIONNELLE LUXEMBOURGEOISE SELON NOS TROIS AXES DE RECHERCHE.

Réinvestir le patrimoine bâti

L'objectif de « **zéro artificialisation brute** » est une condition préalable à la réussite de nos deux autres volets d'action. En effet, la préservation du potentiel de séquestration carbone des espaces naturels luxembourgeois suppose avant toute chose de stopper leur artificialisation. De même, la maîtrise de l'empreinte carbone des mobilités impose de commencer par freiner l'étalement de l'aire urbaine luxembourgeoise et de densifier ses tissus existants.

Cette ambition de « **construire la ville sur la ville** » en faisant évoluer le bâti existant et en densifiant les terrains déjà artificialisés requiert toutefois un important travail d'accompagnement et d'évolution des pratiques, que nous esquissons dans cette première partie.

Préserver le capital agroforestier

Réduire l'artificialisation n'est cependant qu'un préalable. La **préservation et l'amplification du potentiel de séquestration des milieux ouverts de la région fonctionnelle nécessitent leur adaptation**. Cette adaptation implique d'assurer leur multifonctionnalité et leur diversité. Les modes d'exploitation et

de production doivent évoluer vers des productions plus écologiques, relocalisées. L'agroforesterie, la diversification forestière ainsi que le redéploiement d'une filière bois adaptée sont des outils précieux pour assurer l'intensification de la séquestration carbone des territoires, la réduction des émissions et la résilience de la biodiversité.

Décarboner les mobilités

Représentant 15 % de l'empreinte carbone de la région fonctionnelle, la mobilité est un secteur majeur d'atténuation des émissions de GES. Notre stratégie pour parvenir à les réduire s'appuie sur trois axes.

- **La transformation de la demande par le biais d'évolutions programmatiques et organisationnelles.** Il ne s'agit pas seulement de réduire les kilomètres à parcourir mais de substituer à des trajets longs et émissifs des trajets courts et très peu carbonés.
- **La transformation des infrastructures et espaces publics,** afin de sortir d'un modèle encourageant l'usage de la voiture pour tendre vers un modèle favorisant les mobilités les moins carbonées.
- **L'évolution du cadre réglementaire et législatif** afin de lever les freins à la transition et de mettre en place les incitatifs nécessaires pour l'accélérer.



Diagnostic de la région fonctionnelle : agroforesterie, artificialisation des sols et mobilité.

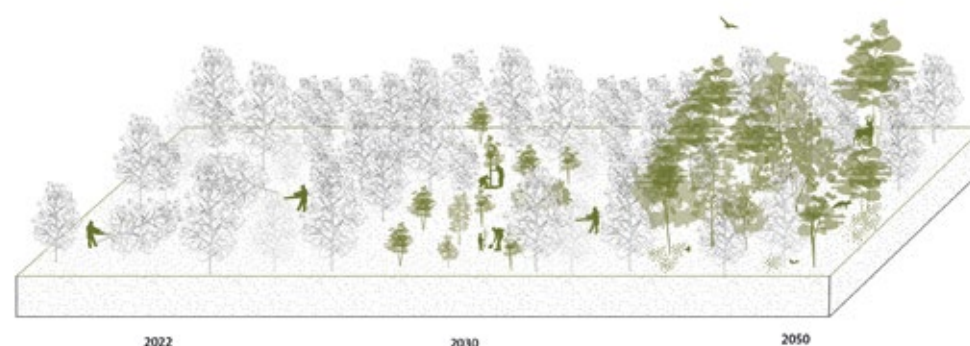


Schéma de principe de gestion pour des forêts résilientes.



Transformation du boulevard Raiffeisen, vision 2030.

Synthèse de la phase 3

LA DERNIÈRE PARTIE DE CE RAPPORT ESQUISSE DES PROJETS DÉMONSTRATEURS SUR CINQ SITES AU SUD-OUEST DE LUXEMBOURG-VILLE.

Sur chacun de ces cinq zooms, nous testons notre stratégie conjuguant les leviers d'action associés à nos trois thématiques de travail, tout en évaluant leur potentiel de réduction d'empreinte carbone à l'échelle locale.

Tissu résidentiel de Gasperich

Ce premier zoom sur une typologie résidentielle très répandue au Luxembourg scénarise **une transition vers des mobilités décarbonées et une plus grande résilience aux aléas climatiques** (canicules, inondations...). La réduction de la place accordée à l'automobile est un premier jalon permettant de libérer l'espace nécessaire à l'introduction d'aménités de proximité et de mobilités alternatives (marche, vélo, transports en commun). La densification et la mutation du tissu existant contribuent quant à elles à répondre à la forte demande de logements sans générer d'artificialisation supplémentaire ni d'extension du réseau routier, tandis que la désimperméabilisation du réseau viaire participe au renforcement de la résilience climatique du quartier.

Nouveau quartier de la Cloche d'Or

Le réaménagement tactique des espaces publics de la Cloche d'Or initie la transition du quartier, et préfigure

l'arrivée du tramway. **La réduction progressive des voies routières permet d'équiper le quartier pour réduire sa dépendance à l'automobile**, initiant un cercle vertueux de retour à des mobilités de proximité. L'évolution programmatique du tissu bâti suit également l'évolution des modes de travail et de consommation induite par la transition.

Zone d'activités de la Cloche d'Or

À la fois monofonctionnelle, très artificialisée et peu dense, **la Z.A. de la Cloche d'Or constitue un terrain propice pour une forte densification, afin d'absorber le besoin de mètres carrés neufs ne pouvant être accueillis dans des bâtiments existants**. Le renforcement de la mixité fonctionnelle du quartier, son équipement en véhicules partagés (vélos, voitures électriques légères) et l'évolution de ses espaces publics concourent également à décarboner ses mobilités.

Clairière forestière

Au cœur de la forêt du Kockelscheuer, dans une parcelle privée, une zone d'activités réduit petit à petit la surface forestière, entraînant un risque de fragmentation de l'écosystème forestier. Le développement d'une filière bois de feuillus (centre de formation, scierie...) ainsi que de la diversification forestière est proposée. Le zéro urbanisation nette limite l'expansion de la clairière

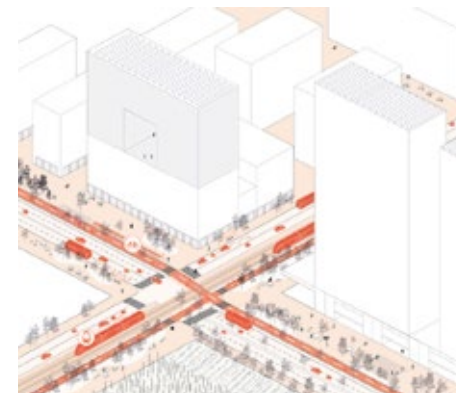
en proposant une densification de l'existant. La clairière diversifie ses activités en intégrant les futurs équipements de la transition forestière : îlot-laboratoire, pépinière, centre de formation, entreprises de construction bois, menuiserie... Elle s'ouvre au public en renforçant les connexions aux modes actifs en faisant de la forêt, même privée, un bien commun et partagé.

Couronne nourricière

La couronne agroforestière autour de Luxembourg-Ville dispose encore de grandes surfaces agricoles. Le redéploiement d'une agriculture locale et de la polyculture augmente les surfaces maraîchères et modifie la spatialité des surfaces agricoles en les redécoupant. L'agroforesterie est développée en intra et interparcellaire, créant des liens écosystémiques entre les massifs forestiers. Le redéploiement d'un maillage bocager public et la création d'une ferme ouverte resserrent les liens entre ce territoire et Luxembourg-Ville. Les Halles de Luxembourg deviennent un réel centre d'échanges reconnecté à son environnement proche et participent à la relocalisation et à la valorisation des produits locaux.



Quartier résidentiel de Gasperich, vision 2030.

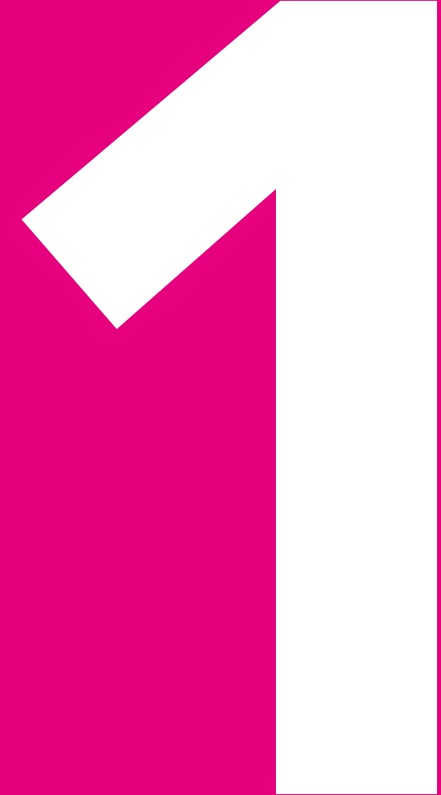


Cloche d'Or, vision 2030.



Forêt de Kockelscheuer, vision 2030.

Manifeste Le Paysage Capital





01 **Sanctuariser les espaces non imperméabilisés** au service de la production alimentaire, de la résilience des écosystèmes et de la séquestration du carbone (principe de « zéro artificialisation brute »).

02 **Assurer la rénovation énergétique de l'ensemble du patrimoine bâti et intensifier son usage** pour réduire le besoin de constructions neuves.

03 **Transformer les programmes voués à l'obsolescence** en des lieux ressources au service de la transition.

04 **Densifier les espaces déjà artificialisés** pour utiliser les mètres carrés à construire comme des leviers d'adaptation des territoires à un monde sans énergies fossiles.

05 **Conditionner toute construction neuve à la compatibilité avec la transition.**

- Programmation compatible avec la transition.
- Localisation compatible avec une mobilité décarbonée.
- Évolutivité programmatique pour réduire l'obsolescence fonctionnelle du patrimoine bâti.
- Réversibilité structurelle pour favoriser le réemploi des matériaux.
- Matériaux biosourcés pour contribuer à la séquestration carbone.

1.2

Un capital agroforestier préservé et amplifié



01

Étendre et connecter les milieux peu anthropisés

pour favoriser la résilience des écosystèmes.

02

Diversifier les essences plantées

pour renforcer la résilience des forêts face au changement climatique.

03

Développer l'agroforesterie

et relocaliser la filière bois pour renforcer le potentiel de séquestration carbone de la région fonctionnelle luxembourgeoise.

04

Faire évoluer l'agriculture au service d'une alimentation moins carnée et d'une production locale,

afin de réduire son empreinte carbone et son empreinte spatiale.

05

Désimperméabiliser et végétaliser les tissus urbains

pour les adapter au changement climatique et améliorer le cadre de vie des habitants.

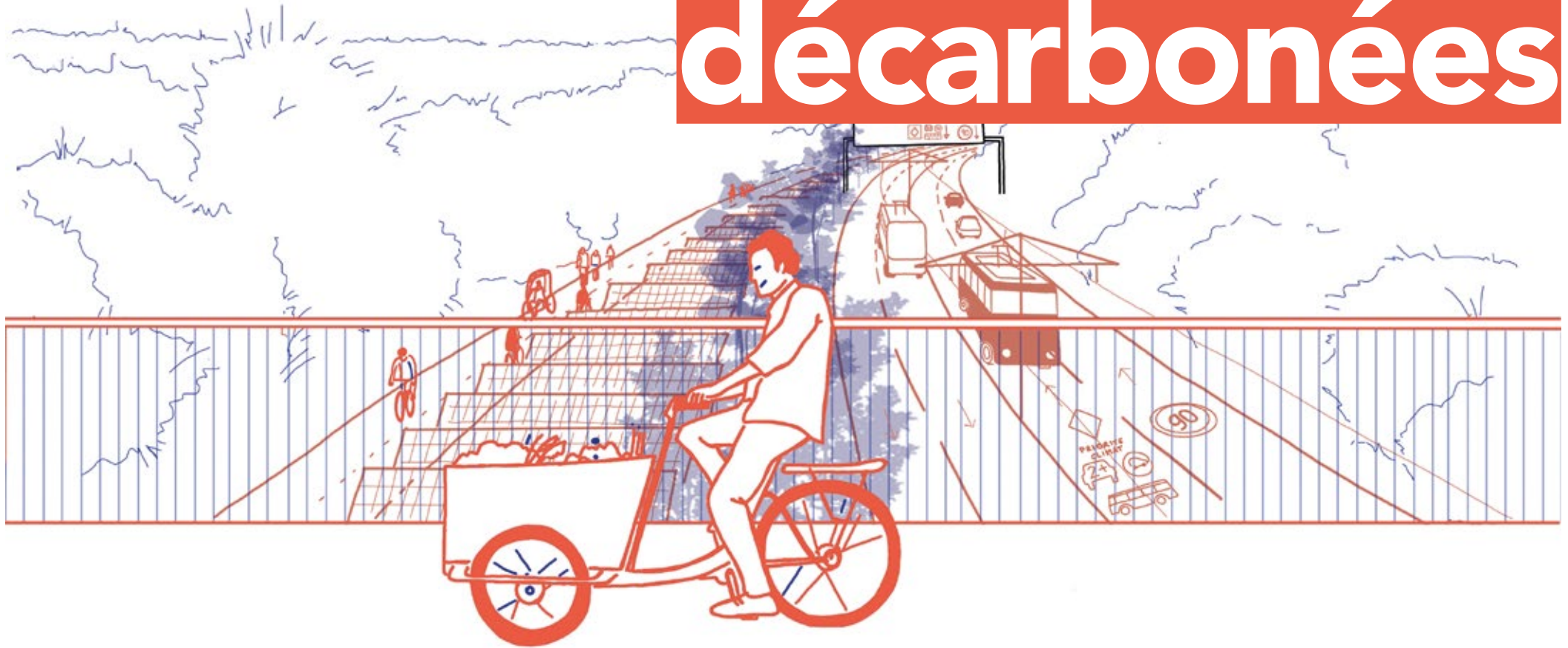
06

Mettre en réseau les paysages

et renforcer leur accessibilité pour sensibiliser à leur préservation et favoriser un tourisme de proximité.

1.3

Des mobilités décarbonées



01 Adopter un moratoire sur la construction de nouvelles routes non essentielles.

02 Réduire les vitesses sur l'ensemble du réseau routier.

03 Adapter la programmation urbaine pour reconfigurer la demande de mobilité en réactivant l'échelle de proximité.

04 Rééquilibrer le partage modal des espaces publics et adapter le réseau viaire.

- Bigbang du partage modal de l'espace public et des infrastructures routières au profit des mobilités décarbonées.
- Réaménagement de toutes les intersections et révision des schémas de circulation.
- Refonte de l'offre de stationnement au profit des modes décarbonés.

05 Mettre en place des mesures réglementaires et fiscales pour accélérer la transition.

- Réglementation du télétravail.
- Fiscalité des déplacements domicile-travail.
- Taxation des voitures de société.
- Normes et tarification du stationnement.

Stratégie de transition pour la région fonctionnelle luxembourgeoise

2



2.1

Intensifier l'usage du patrimoine bâti

Un capital bâti

54

millions de m² de surface de plancher au Luxembourg

Dont 32 millions de m² de logements, soit en moyenne **50 m²/pers.** (contre 40 m²/pers. en France).

Et 22 millions de m² de locaux agricoles, industriels, de services privés et publics, soit en moyenne **50 m²/emploi.**

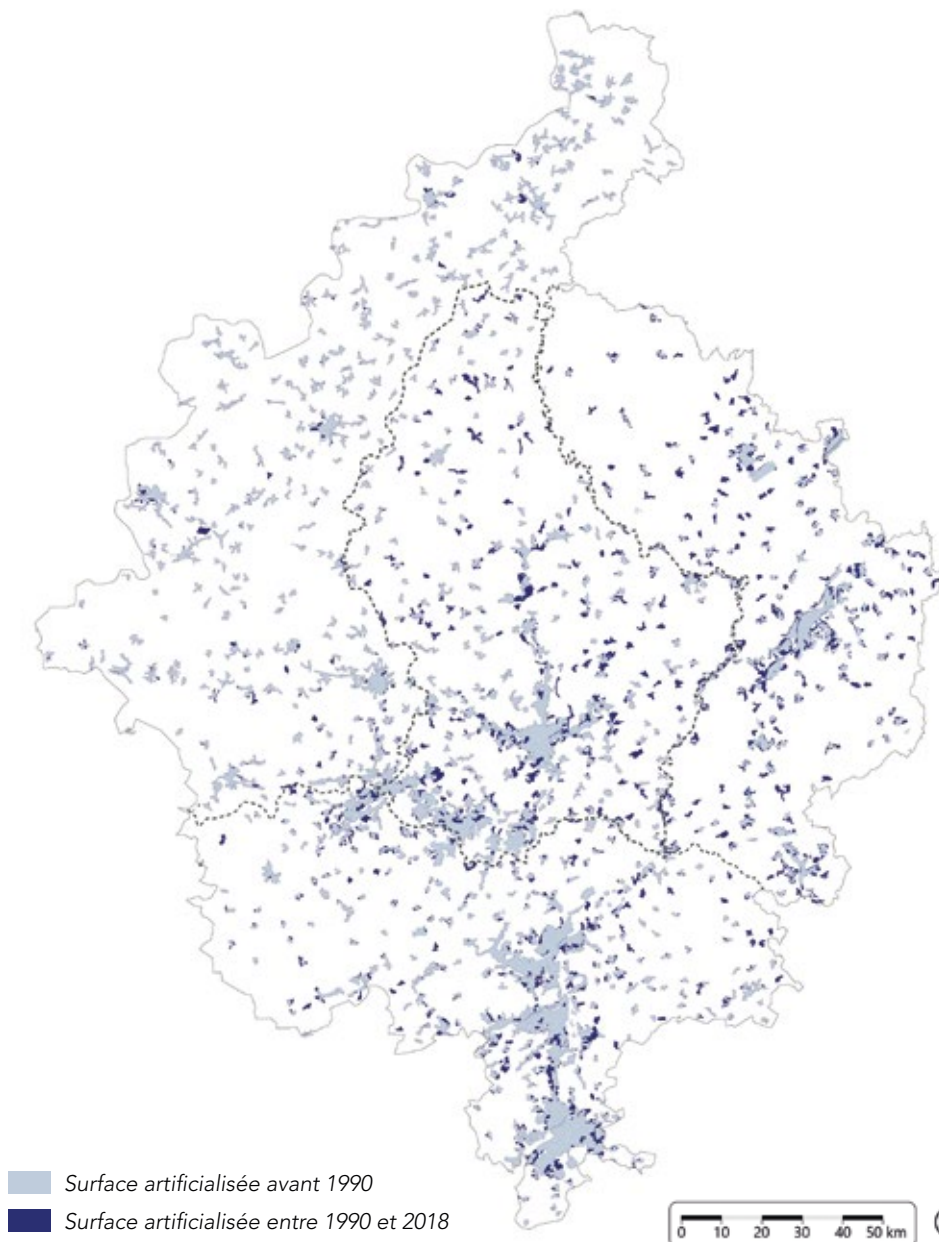
19 000

hectares artificialisés entre 1990 et 2018.

3,1

tCO₂e/pers./an pour la consommation d'énergie liée au logement

dont **2,2 tCO₂/pers./an** pour le chauffage.



60 %

de logements sous-occupés au Luxembourg

(définis par une pièce supplémentaire par rapport au seuil de non-suroccupation).

2,1

pièces/pers. en moyenne au Luxembourg

vs 1,2 pièce/pers. en France.
Une adaptation de la taille des logements à la taille des ménages permettrait d'accueillir la quasi-totalité de la croissance de la population en 2050 dans la même surface globale que celle de 2020.

48

millions de m² à construire dans le scénario tendanciel

soit 140 millions de m² d'artificialisation supplémentaires, presque trois fois la superficie de Luxembourg-Ville.

Intensifier l'usage du patrimoine bâti pour tendre vers le zéro artificialisation brute

LE ZÉRO ARTIFICIALISATION BRUTE, UN OUTIL AU SERVICE DE LA DÉCARBONATION DU BÂTIMENT.

La construction et l'usage des bâtiments sont parmi les postes majeurs de l'empreinte carbone de la région fonctionnelle, avec la consommation d'énergies carbonées et en particulier de fioul, la fabrication et la mise en œuvre de produits de construction et notamment de béton, ou encore l'artificialisation de terres agricoles pour la création de nouveaux programmes.

Pour rendre le bâtiment bas carbone aussi vite que ce qu'impose la trajectoire +2°C, la construction neuve ne suffira pas. Non seulement les meilleurs projets ne parviennent à réduire leur bilan d'émissions que d'environ 30 à 40 % par rapport à des projets standard, mais la majorité des bâtiments dont nous disposerons en 2050 sont déjà debout, avec des performances médiocres qui datent du siècle dernier et pèseront encore largement sur l'empreinte globale du parc bâti.

L'intensité d'usage du bâti freine encore plus la transition, avec au Luxembourg un parc de logements qui sont en moyenne parmi les plus grands d'Europe et de surcroît largement sous-occupés. Actuellement, la surface moyenne par personne est d'environ 50 m² au Luxembourg, contre 40 m² en France, en hausse d'environ 1 % par an depuis les années 1980. Le vieillissement de la population et l'évolution des modes

de vie font baisser progressivement la taille des ménages, et entraînent mécaniquement une hausse du besoin de mètres carrés.

Dans ces conditions, comment concilier les évolutions démographiques à venir du territoire de la région fonctionnelle, et notamment la forte hausse de la population luxembourgeoise, avec l'impératif de neutralité carbone ?

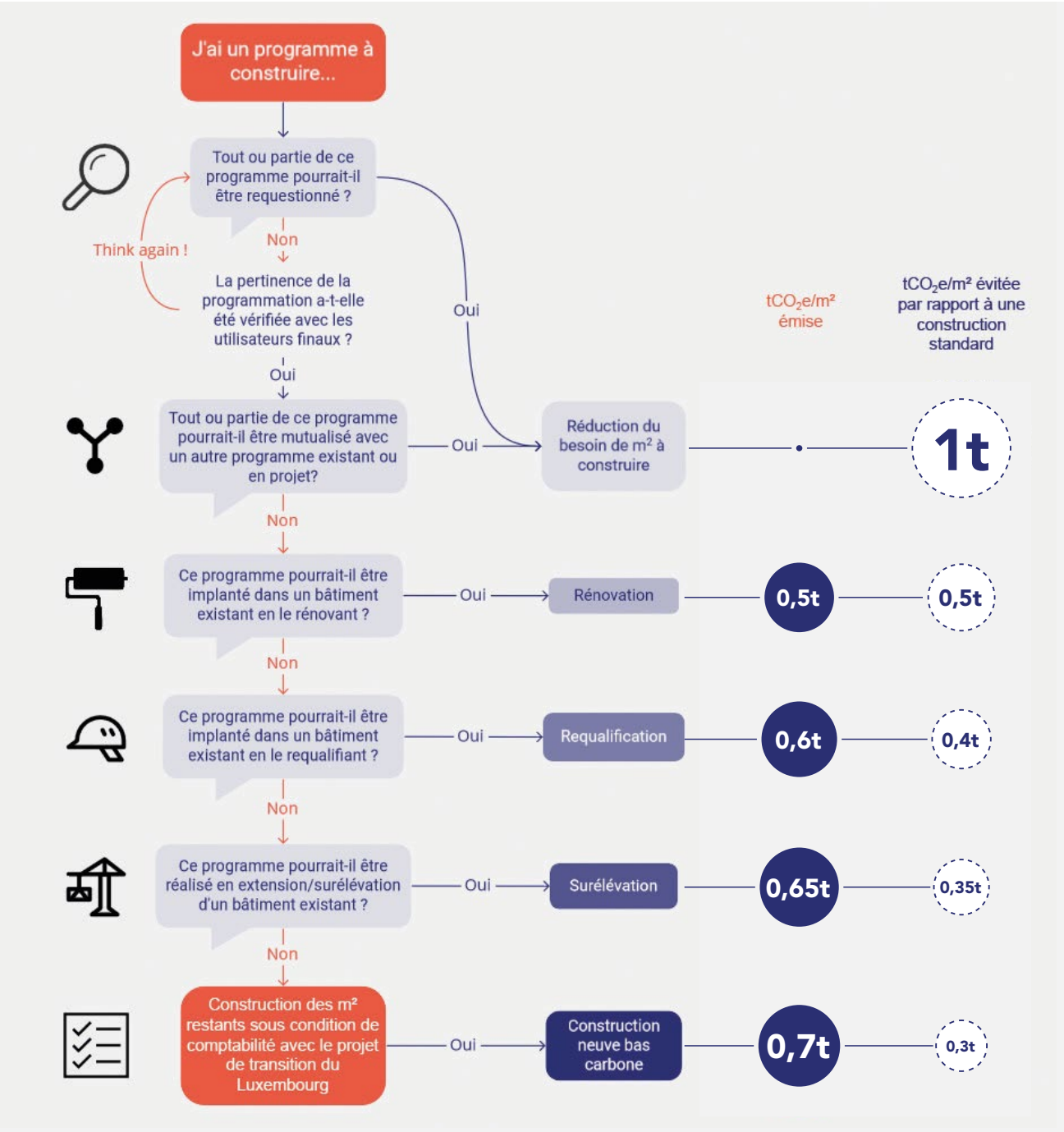
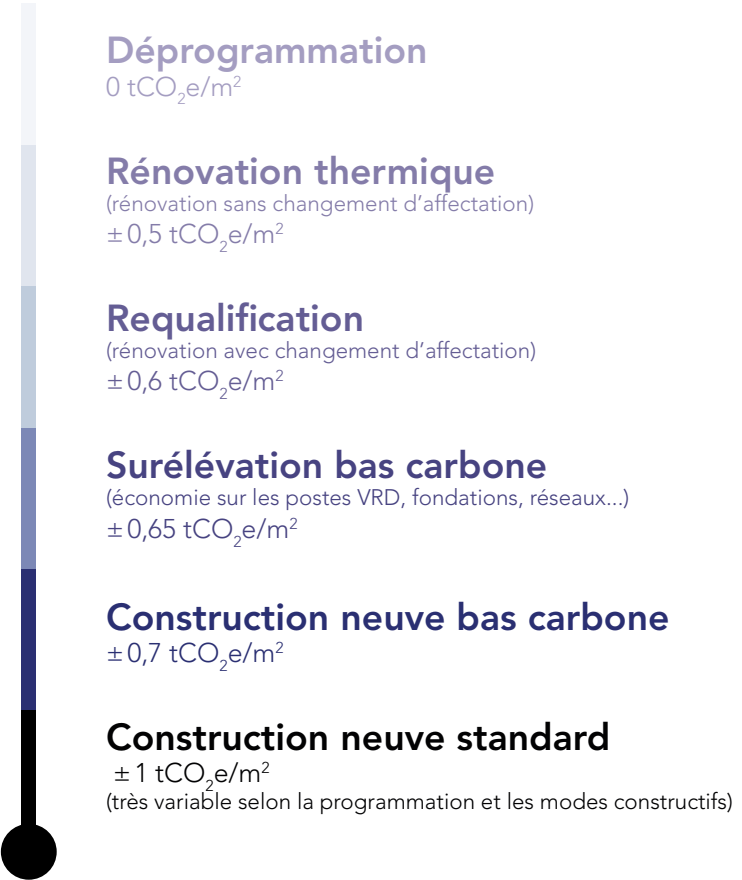
Nous proposons le concept de zéro artificialisation brute pour guider la stratégie de transition. À la place d'une réponse purement technique, que nous savons insuffisante, cette approche commence par remettre en cause le besoin même de construction, avant de considérer des options de projet par ordre d'impact croissant : remise en question du besoin réel, rénovation, transformation, surélévation de l'existant, et, en dernier recours, construction neuve bas carbone, sur des terres déjà artificialisées.



Luxembourg-Ville,
avril 2021.

Hiérarchiser les options de projet par ordre d'impact croissant

POUR PARVENIR À TENDRE VERS LE ZÉRO ARTIFICIALISATION BRUTE, NOUS PROPOSONS ICI UN OUTIL D'AIDE À LA DÉCISION SOUS FORME DE LOGIGRAMME, PERMETTANT D'OPTIMISER LES GAINS DE CARBONE EN FONCTION DES BESOINS DE MÈTRES CARRÉS PROGRAMMÉS.



Conditionner toute construction neuve à la compatibilité avec la transition

VERS UNE REFONTE DES RÈGLES ENCADRANT LES AUTORISATIONS DE CONSTRUIRE

Une fois les différentes options de projet évaluées, pour les constructions neuves restant à bâtir, nous préconisons de fixer de nouvelles conditions de constructibilité.

Celles-ci doivent permettre de minimiser :

- **l'empreinte carbone des bâtiments lors de leur construction** (obligation de recours à des procédés bas carbone et utilisation de matériaux biosourcés pour contribuer à la séquestration carbone) ;
- **les émissions de GES liées à leur usage** (programmation compatible avec la transition) ;
- **les émissions de GES liées aux mobilités qu'ils génèrent** (localisation compatible avec des mobilités décarbonées - modes actifs ou transports en commun) ;
- **les émissions de GES liées à leur future transformation** (évolutivité programmatique et réversibilité structurelle).

De manière plus générale, du fait de leur empreinte carbone importante, les constructions neuves doivent désormais être vues comme des investissements devant impérativement contribuer à amoindrir l'empreinte carbone de la région fonctionnelle luxembourgeoise à une échelle plus large – par exemple, par leur localisation et leur programmation, en contribuant à renforcer la mixité d'un quartier et à réduire sa dépendance à l'automobile. L'énergie, la matière et le carbone consommés par l'acte de construire sont particulièrement précieux, et vont être amenés à se raréfier : ils doivent donc être mobilisés d'une manière ou d'une autre au service de la transition.

NOUVELLES CONDITIONS POUR LA CONSTRUCTION NEUVE

- ✓ Programmation compatible avec la transition
- ✓ Localisation compatible avec une mobilité décarbonée
- ✓ Évolutivité programmatique pour réduire l'obsolescence fonctionnelle du patrimoine bâti
- ✓ Réversibilité structurelle pour favoriser le réemploi des matériaux
- ✓ Matériaux biosourcés pour contribuer à la séquestration carbone

Identifier les mesures incitatives à mettre en place et anticiper leurs potentiels effets rebond

LES MESURES À ADOPTER POUR FACILITER LE ZÉRO ARTIFICIALISATION BRUTE RESTENT ENCORE À PRÉCISER, AFIN DE GARANTIR LA PRÉSERVATION DU CAPITAL AGRICOLE ET FORESTIER DU LUXEMBOURG SANS GÉNÉRER D'EFFET REBOND PRÉJUDICIABLE.

Nous reproduisons ci-contre les douze recommandations de la Fondation IDEA pour mieux occuper les surfaces habitables existantes, qui nous semblent constituer des pistes intéressantes pour tendre vers le zéro artificialisation brute (ZAB) sans pénaliser l'accès au logement.

Compte tenu des nombreux effets rebond potentiels, ces mesures devraient cependant faire l'objet d'études d'impact approfondies, afin de s'assurer en particulier :

- que la mise en place du ZAB ne se traduise pas par une raréfaction de l'offre de logements au Luxembourg, qui poserait des problématiques sociales et risquerait d'engendrer un report vers les zones frontalières, et donc des mobilités automobiles accrues (effet rebond sur l'empreinte carbone des mobilités). Le ZAB suppose donc d'identifier les mesures adéquates pour pleinement mobiliser le gisement de mètres carrés nécessaires à la création de nouveaux logements au Luxembourg, et de rééquilibrer autant que possible le différentiel d'activités économiques entre le Luxembourg et ses régions frontalières ;
- que l'objectif du ZAB ne soit pas poursuivi au prix d'un recours accru à la démolition pour libérer des terrains artificialisés – le recours à la démolition étant en règle générale très négatif sur le plan de l'empreinte carbone et de la production de déchets ;
- que la mise en œuvre du ZAB au Luxembourg ne se fasse pas au prix d'un étalement urbain accru dans les zones frontalières. Cet objectif requiert donc un important travail de coordination et de suivi à l'échelle de la Grande Région.



Les douze recommandations de la Fondation IDEA pour mieux occuper les surfaces habitables existantes

SOUS-OCCUPATION

- **Recommandation n°1**
Lever les barrières légales à une occupation optimisée de sa résidence principale.
- **Recommandation n°2**
Inciter à une meilleure occupation des surfaces sous-occupées par des mesures légales et fiscales.
- **Recommandation n°3**
Promouvoir de nouvelles pratiques d'occupation par une communication novatrice et ciblée.
- **Recommandation n°4**
Abaisser les plafonds de surfaces à respecter pour être éligible à certaines aides et les étendre à d'autres mesures.

NON-OCCUPATION

- **Recommandation n°5**
Mieux utiliser les instruments légaux existants de coordination de l'action de l'État et des communes et les adapter à la réalité si nécessaire.
- **Recommandation n°6**
Mobiliser l'instrument fiscal pour décourager la conservation improductive de biens.
- **Recommandation n°7**
Développer la « location » de terrains pour du logement innovant.
- **Recommandation n°8**
Apporter des garanties rassurantes aux propriétaires pour libérer un « marché du vide ».

COLOCATION

- **Recommandation n°9**
Affiner la connaissance du phénomène de la colocation à travers le recensement.
- **Recommandation n°10**
Reconnaître l'existence juridique de ces pratiques et clarifier le cadre applicable – notamment aux colocations « professionnelles » – sans le rigidifier.
- **Recommandation n°11**
Renforcer les mesures de cartographie de certains types de logement (chambre meublée, logement collectif).
- **Recommandation n°12**
Valoriser les bonnes pratiques communales et associatives.

Source : « Logement au Luxembourg, sous-occupation, non-occupation et colocation : les pièces du puzzle résidentiel », Fondation IDEA asbl, Idée du mois n°16, novembre 2016.



Modélisation des scénarios d'évolution du parc bâti

NOUS AVONS ÉTUDIÉ CETTE APPROCHE SUR LA PARTIE LUXEMBOURGEOISE DE LA RÉGION FONCTIONNELLE, AVEC UNE ESTIMATION DE L'UTILISATION ET DES BESOINS DE MÈTRES CARRÉS DE LA POPULATION ET DES ACTIVITÉS ÉCONOMIQUES, ENTRE 2020 ET 2050.

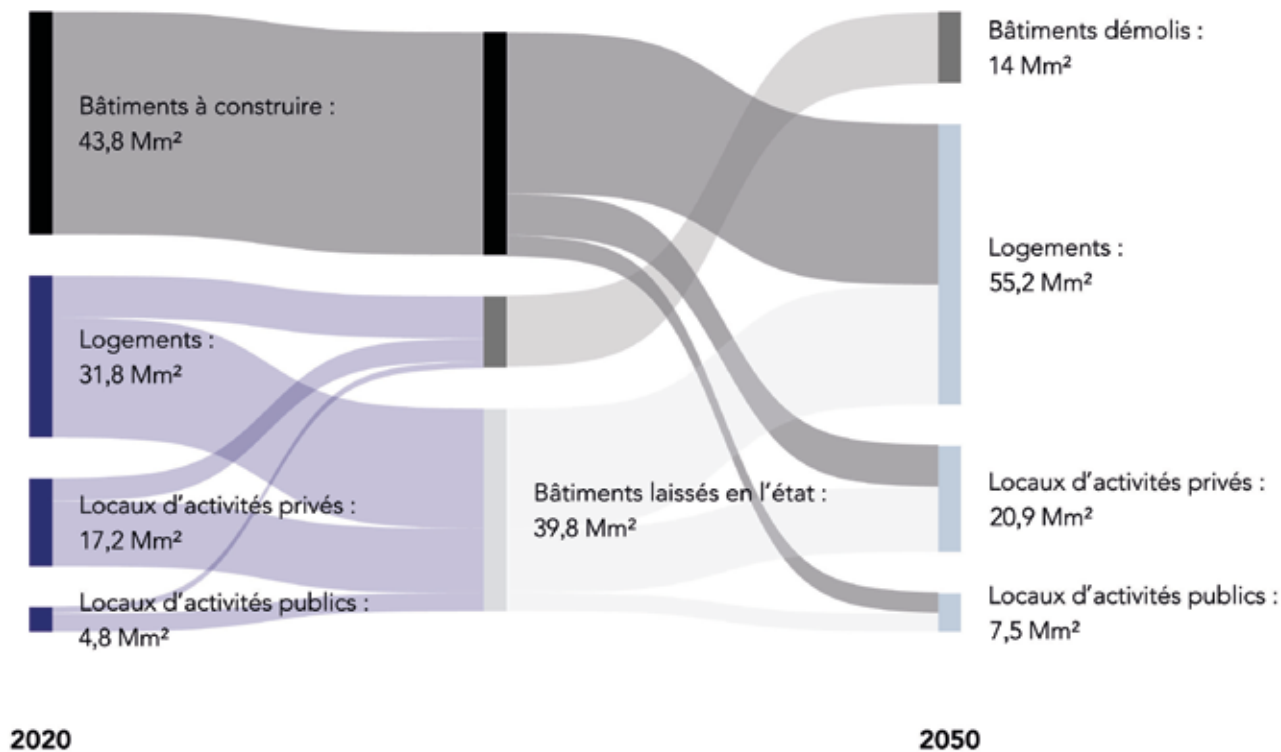
Dans les deux scénarios – tendanciel et f(lux) –, la population croît, s'enrichit, vieillit, et les ménages se reconfigurent selon les hypothèses prises par Statec dans ses projections.

SCÉNARIO TENDANCIEL

Dans le scénario tendanciel, les pratiques des ménages vis-à-vis du niveau d'occupation des logements restent identiques. Nous reconstruisons le niveau d'occupation des logements actuels pour chaque commune du Luxembourg, en fonction des caractéristiques du parc bâti issues du cadastre (logements individuels ou collectifs, surfaces...) et des données socio-économiques des ménages, que nous utilisons par ailleurs pour l'estimation de l'empreinte carbone (niveau de vie, taille du ménage, âge de la personne de référence...).

Avec ce point de départ et ces hypothèses, les surfaces de logement nécessaires seraient de 55,2 millions de m², une hausse 74 % par rapport à 2020, avec une surface moyenne par personne en augmentation d'environ 55 m². **Avec une hypothèse de démolition des logements existants de 1 % par an, il faudrait construire 31,6 millions de m² entre 2020 et 2050, soit l'équivalent de l'ensemble des surfaces de logement disponibles en 2020.**

Évolution du parc bâti - scénario tendanciel
Sur la partie luxembourgeoise de la région fonctionnelle.



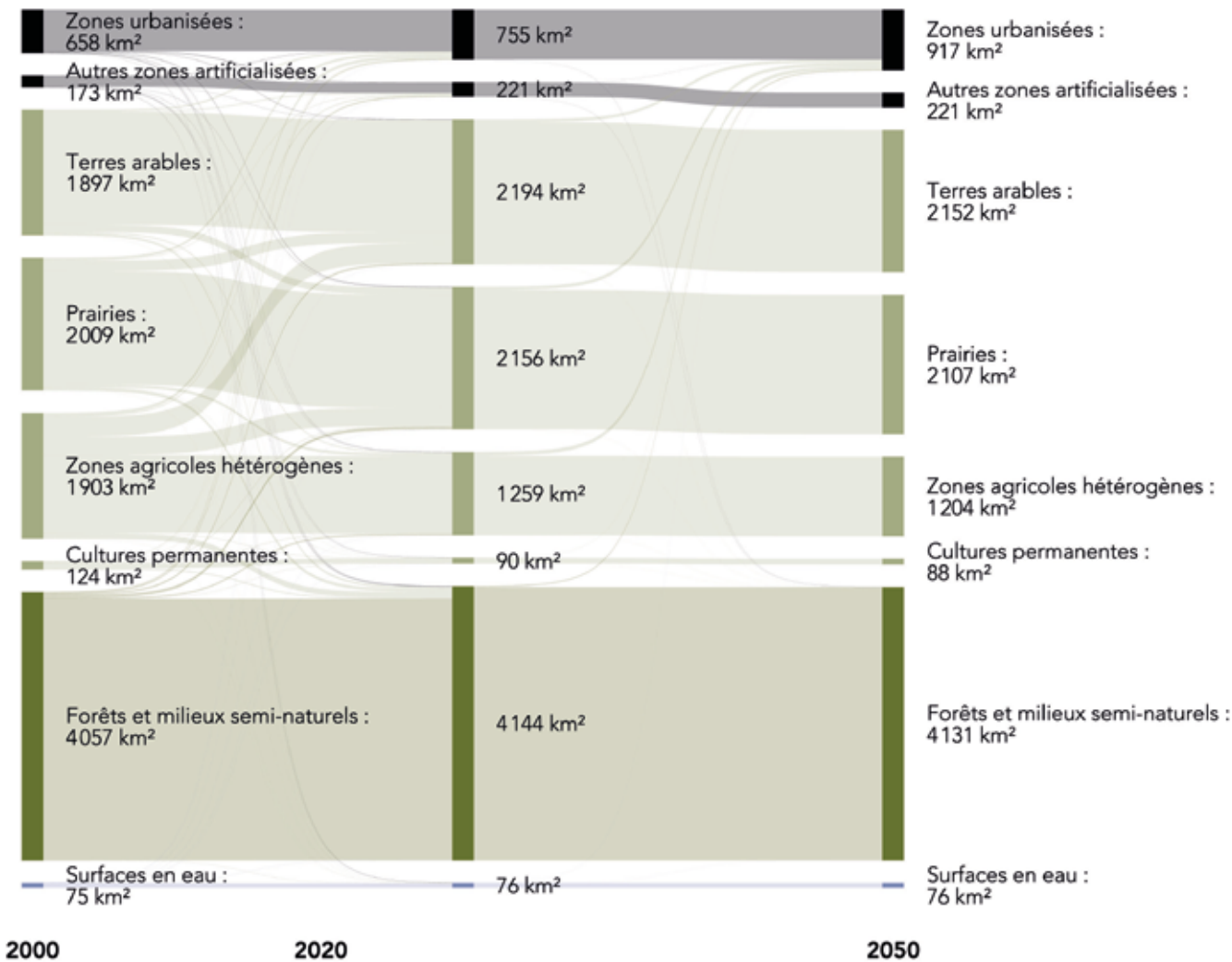
Modélisation des scénarios d'évolution du parc bâti

Côté emploi, nous calculons l'utilisation actuelle de locaux d'activités par grand secteur de l'économie (agriculture, industrie, services privés et services publics), à partir des données du cadastre également. Les projections de référence de croissance du PIB de Statec nous permettent ensuite d'estimer le nombre d'emplois en 2050, puis d'extrapoler les besoins de surfaces de locaux : ils seraient de 28,4 millions de m² en 2050, en hausse de 30 % par rapport à 2020.

Avec environ 400 m² de sols artificialisés par habitant et par emploi, nous pouvons également estimer un niveau d'artificialisation à partir de cette croissance démographique et économique : 140 km² entre 2020 et 2050, soit une hausse de 52 % et presque trois fois la superficie de la ville de Luxembourg.

Évolution de l'usage des sols - scénario tendanciel

Sur le périmètre de la région fonctionnelle.



Modélisation des scénarios d'évolution du parc bâti

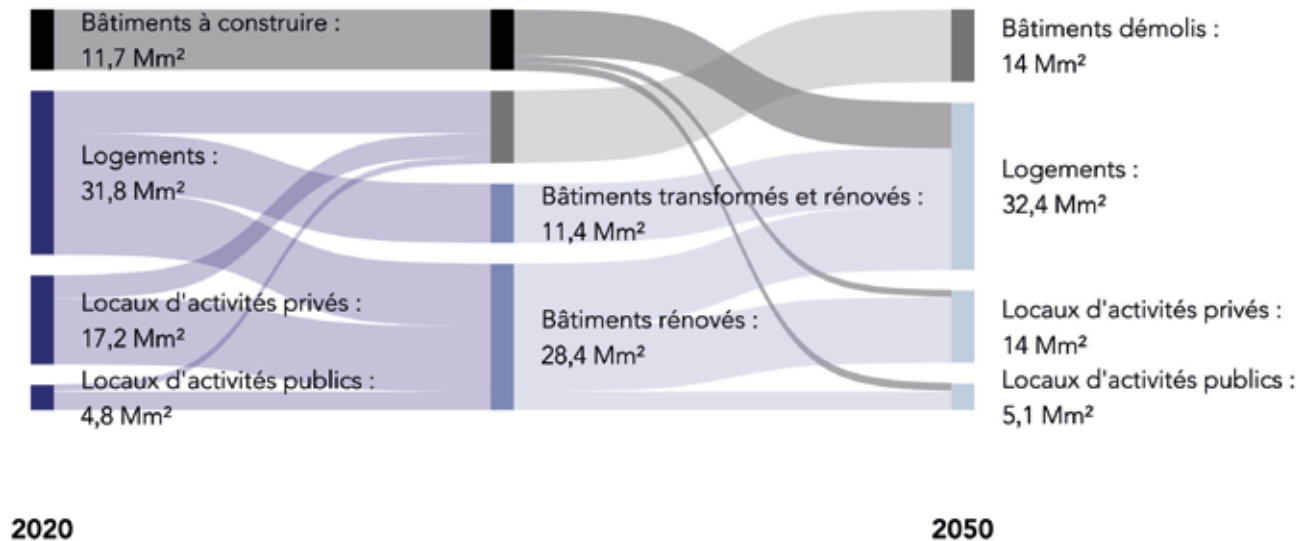
SCÉNARIO F(LUX)

Dans le scénario f(lux), les ménages modifient leur comportement pour utiliser des logements « à leur taille », c'est-à-dire qui ne sont ni suroccupés ni sous-occupés, selon les définitions de ces seuils par le Statec ou l'INSEE. Les surfaces de logements globales resteraient stables, à 32,4 millions de m², grâce à l'augmentation de l'intensité d'usage à environ 35 m²/personne. Cette évolution nécessiterait cependant une profonde reconfiguration des logements de grande taille, avec 11,4 millions de m² à transformer. La surface à construire ne serait plus que de 9 millions de m², soit une baisse de 70 % par rapport au scénario tendanciel. La totalité des logements de 2020 toujours présents en 2050 auront été *a minima* rénovés thermiquement, ou réconfigurés et rénovés.

Côté emploi, nous suivons les conséquences d'un levier d'action nécessaire pour la décarbonation de la mobilité : la densité d'emploi doit s'aligner avec la densité d'actifs pour limiter les distances parcourues. La convergence de la région fonctionnelle vers une densité homogène est une transformation majeure, le différentiel transfrontalier étant une de ses caractéristiques.

Dans le scénario f(lux), la croissance des emplois sert à rééquilibrer le territoire, et se concentre donc en France, en Belgique et en Allemagne, là où des locaux sont déjà disponibles du fait de la baisse du nombre d'emplois ces dernières années. Le besoin de nouveaux locaux au Luxembourg en serait donc drastiquement diminué, et la surface serait de 19,1 millions de m² en 2050 (en légère baisse par rapport à 2020 du fait d'une baisse progressive du nombre d'emplois industriels très consommateurs en usage de bâtiments).

Évolution du parc bâti - scénario f(lux)
Sur la partie luxembourgeoise de la région fonctionnelle.

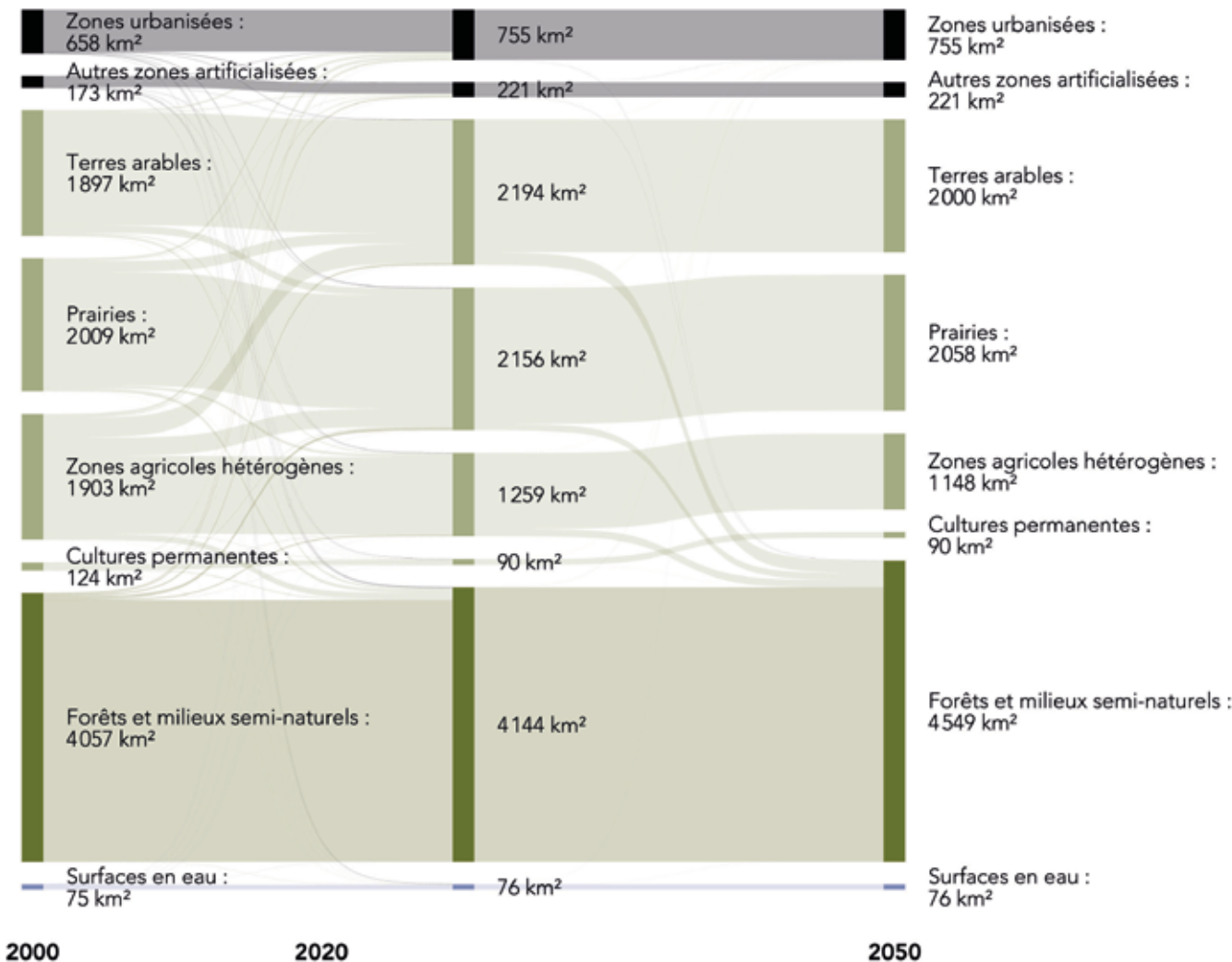


Modélisation des scénarios d'évolution du parc bâti

Pour ce qui est de l'usage des sols, en appliquant la règle de zéro artificialisation brute, la totalité des nouvelles constructions se ferait sur des sols déjà artificialisés.

Évolution de l'usage des sols - scénario f(lux)

Sur le périmètre de la région fonctionnelle.



Empreinte carbone du scénario f(lux) : actions sur la construction

En appliquant la stratégie du zéro artificialisation brute, le scénario f(lux) divise par quatre le besoin de nouvelles constructions entre 2030 et 2050, par rapport à un scénario tendanciel, tout en valorisant et en intensifiant l'usage de l'existant.

Le poste logement pèse actuellement 3,2 tCO₂e/pers./an dans l'empreinte carbone moyenne de 16,1 tCO₂e/pers./an de la région fonctionnelle, essentiellement du fait de la consommation d'énergie et notamment de fioul pour le chauffage, couplée à une surface par personne importante, au Luxembourg notamment.

Dans le scénario f(lux), l'adaptation de la taille des logements à la taille des ménages permet d'enclencher un grand chantier de reconfiguration du parc existant, couplé à des travaux d'amélioration de la performance thermique et de remplacement des systèmes de chauffage basés sur des énergies fossiles (fioul et gaz).

Les hypothèses de gains attendus des rénovations sont fixées par type de logement, maison ou appartement, et par période de construction du logement, d'après les résultats du projet de recherche européen Episcopa, pour le niveau de rénovation le plus complet¹. Le poids carbone de la rénovation est intégré au modèle, d'après les retours d'expérience de l'Association HQE²,

¹ <https://episcopa.eu/welcome/>

² <http://www.hqegbc.org/respect-environnement/acv-indicateurs/acv-batiment-renovation/>

ainsi que celui des constructions neuves bas carbone, sur la base des données collectées par le CSTB lors de l'expérimentation E+C-³.

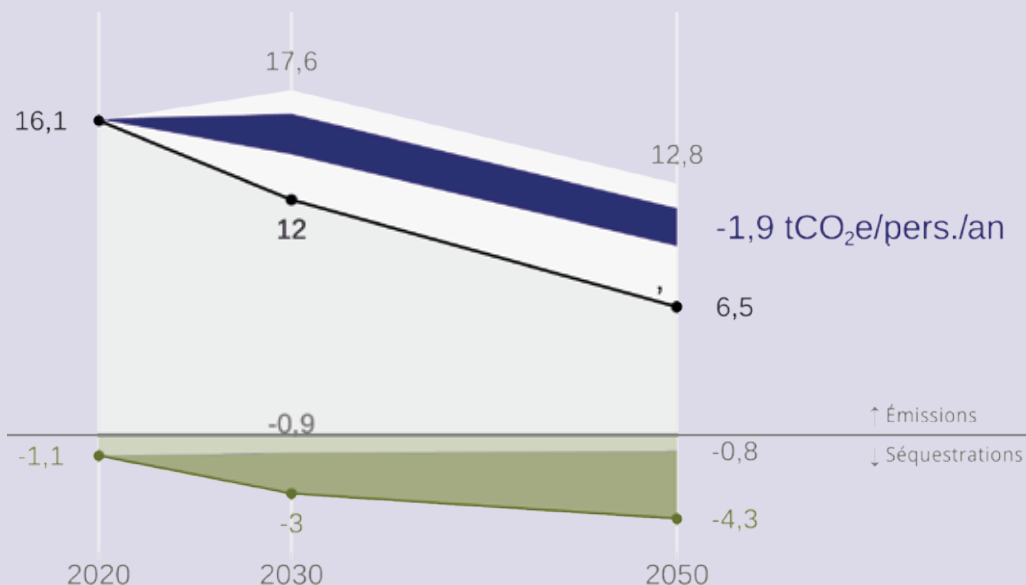
En couplant ces données aux hypothèses sur l'évolution des surfaces de logement par personne, déjà exposées dans la partie « Intensifier l'usage du patrimoine bâti pour tendre vers le zéro artificialisation brute » (p. 33), l'empreinte carbone passerait ainsi à 1 tCO₂e/pers./an, soit une baisse de 2,2 tCO₂e/pers./an (-70 %). Le logement constituerait alors toujours 55 % de l'empreinte carbone cible de 1,8 tCO₂e/pers./an en 2050, une part importante qu'il serait possible de réduire davantage par une décarbonation plus importante de l'approvisionnement énergétique des logements⁴, le développement et l'utilisation de produits de construction et d'équipements bas carbone, ou encore l'allongement de la durée de vie de ces produits et de tous les autres biens durables (meubles, électroménager...), par la réparation et le réemploi.

³ <http://www.batiment-energiecarbone.fr/les-batiments-exemplaires-r29.html>

⁴ Modélisée de manière simplifiée dans nos travaux, sur la base des réductions projetées par les résultats des « Integrated Assessment Models » compilés par le GIEC dans le cadre de ses travaux.

Empreinte carbone - scénario f(lux)

Actions sur la construction, en tCO₂e/pers./an, sur le périmètre région fonctionnelle.

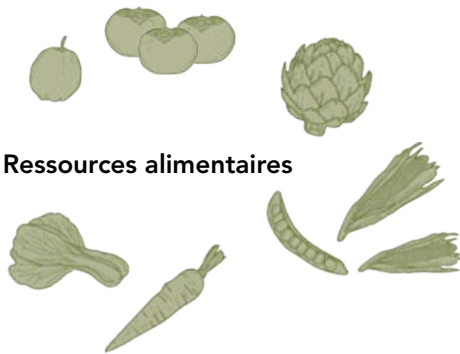
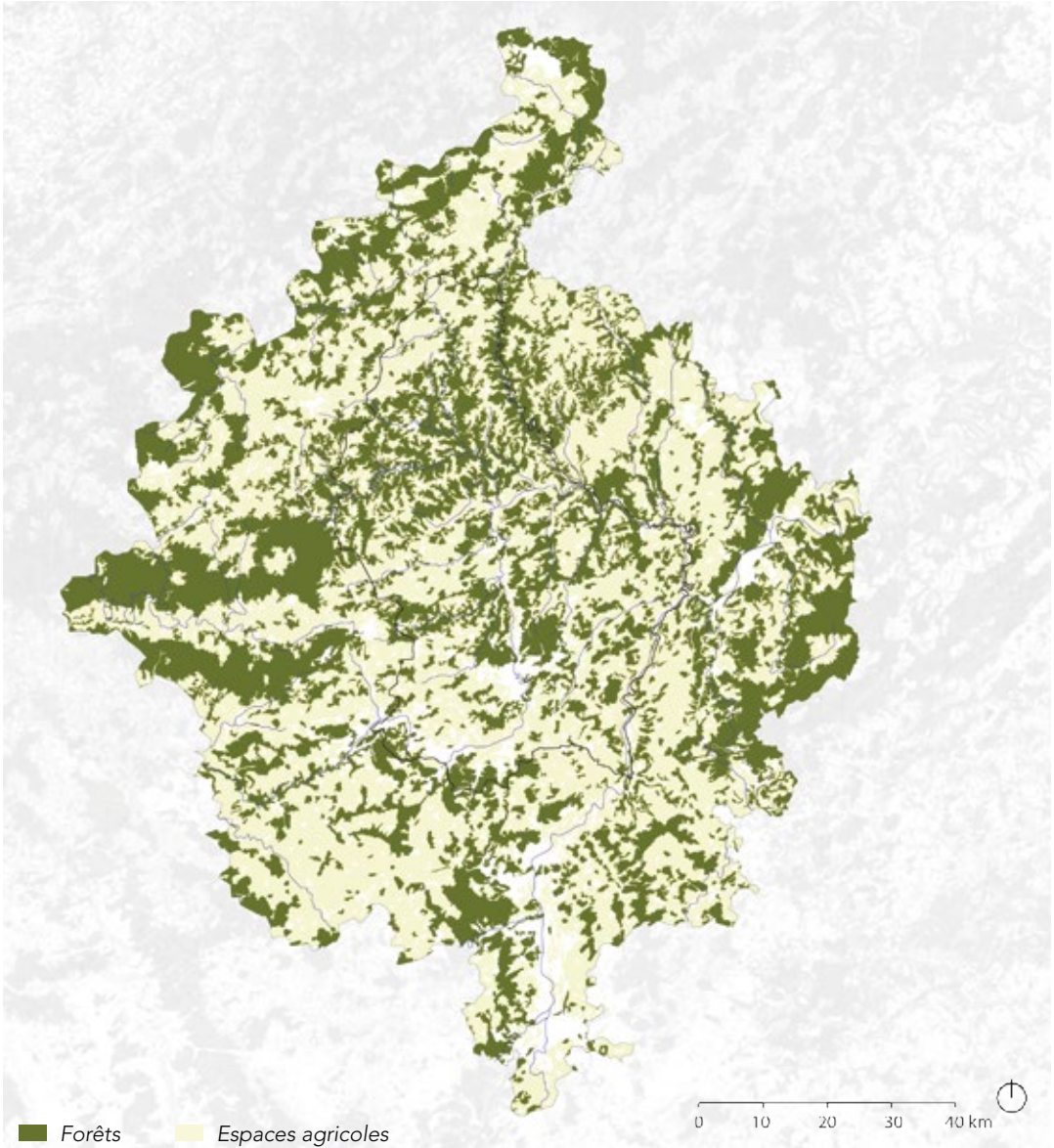
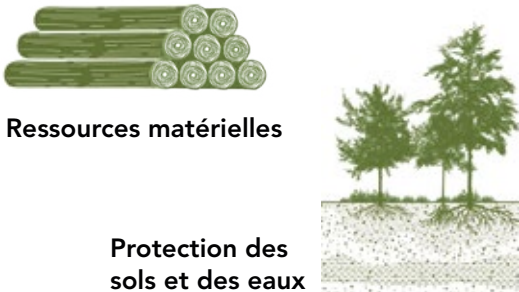


An aerial illustration of a landscape. The top left shows a field with diagonal hatching. The rest of the landscape is filled with various types of trees in shades of green and yellow. In the bottom right, there are several simple, light-colored buildings. The overall style is a soft, painterly illustration.

2.2

**Préserver,
amplifier
et diversifier
le patrimoine
agroforestier**

Un capital naturel



... comme bien commun résistant au changement climatique

Un capital naturel

Le Luxembourg et sa région fonctionnelle bénéficient d'un capital naturel très important. Des paysages froids, leviers de résilience et de décarbonation des territoires. Ces espaces doivent être vus comme un bien commun essentiel au métabolisme territorial. Des territoires non-construits à défendre et à renforcer pour permettre leur adaptation au changement climatique.

Dans le cadre de cette consultation, nous nous intéressons particulièrement aux espaces forestiers et agricoles, qui représentent à eux seuls près de 90 % du territoire de la région fonctionnelle.

FORÊTS

Les forêts portent un rôle essentiel dans la décarbonation des territoires et dans la lutte contre le réchauffement climatique. **Elles jouent un rôle de puits de carbone, séquestrateur et absorbeur de CO₂**, tout en produisant de l'oxygène. Elles constituent des paysages frais qui ont un rôle primordial dans la régulation climatique de notre environnement.

Les forêts sont des refuges pour de nombreuses espèces. **Elles sont des écosystèmes complexes à l'équilibre fragile où animaux, végétaux et micro-organismes sont étroitement connectés.**

L'humain, par sa présence et par l'exploitation des forêts, modifie ces écosystèmes. Les forêts sont ainsi également des lieux ressources, fournisseurs de matières premières, de bois d'œuvre, évidemment, mais

aussi de bois d'énergie, de nourriture, de plantes médicinales... Les forêts protègent les sols et les eaux et assurent, par leur système racinaire, une fortification des sols. Elles participent à la lutte contre l'érosion des sols en cas d'incidents pluvieux extrêmes. Elles permettent, en outre, de conserver des sols humides en assurant une capacité à stocker et à filtrer les eaux.

Les forêts sont aussi, sur le plan social et culturel, des lieux d'accueil de pratiques citoyennes, des espaces équipés, programmés. Elles sont des lieux apaisés qui accueillent des pratiques touristiques, de loisirs quotidiens, sportifs... et peuvent être des espaces de pédagogie sur la nature, la gestion forestière... De plus en plus, elles sont reconnues comme des paysages de la santé, des paysages thérapeutiques, et accueillent de nouvelles pratiques (sylvothérapie, etc.). Ce sont en tout cas des paysages culturels dans les deux sens du terme, à la fois héritage culturel mais aussi lieu de culture, d'échanges culturels et artistiques.

ESPACES AGRICOLES

Le Luxembourg est historiquement un pays agricole. Aujourd'hui encore, les espaces agricoles représentent 52 % du territoire luxembourgeois.

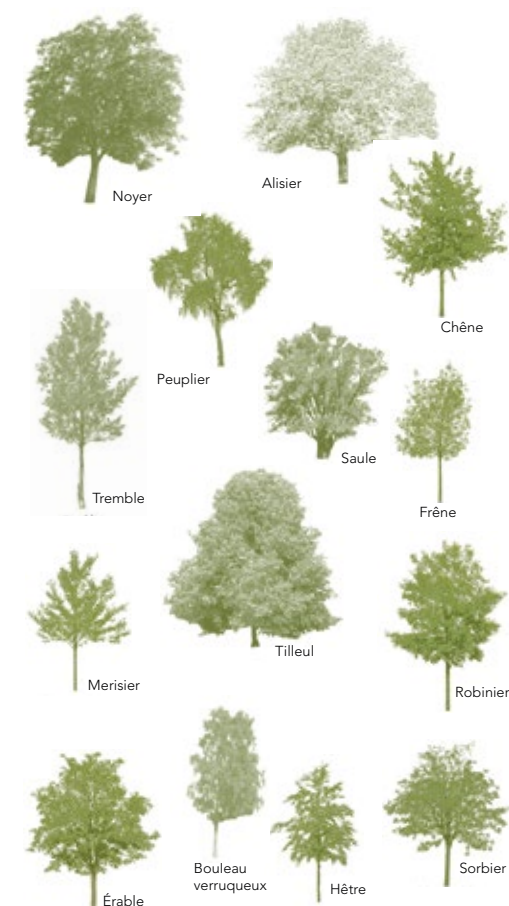
L'agriculture et l'alimentation constituent l'un des postes les plus

importants dans les émissions de carbone du Luxembourg. Un enjeu majeur sera la transformation des habitudes alimentaires et du régime moyen. Les territoires agricoles doivent ainsi devenir un levier au service de cette transition alimentaire.

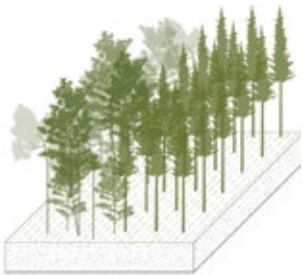
L'agriculture fournit des productions primaires pour l'alimentation, pour l'énergie... Cependant, à travers l'industrialisation de l'agriculture au XX^e siècle, les productions se sont délocalisées avec une agriculture spécialisée, peu diversifiée. **Réintégrer une diversité de cultures, recomplexifier les paysages agricoles et assurer une relocalisation des productions** constituent des actions de réduction des émissions de carbone associées au transport. La relocalisation des systèmes de production et de consommation agricole peut viser une autonomie et une sécurité alimentaires des territoires.

Les espaces agricoles sont des espaces qui peuvent être écologiques du fait qu'ils peuvent assurer des connexions écosystémiques entre milieux. Une agriculture moins intensive, limitant les intrants chimiques, peut maintenir la bonne qualité des eaux et des sols, tout en participant à la séquestration du carbone. Des systèmes de haies bocagères et d'agroforesterie intraparcellaire peuvent assurer une présence boisée et le développement de matériel ligneux.

Des paysages agricoles variés et un rapprochement des productions et des consommateurs peuvent jouer un rôle dans la transition culturelle vers une transformation des régimes et habitudes alimentaires et de consommation.



Les forêts



37 % de la région fonctionnelle
403 738 ha

Séquestration carbone
+ 400 MtCO₂
stockées dans les forêts de la région fonctionnelle

1t
1,06 tCO₂/hab./an

3 400 000 m³/an RF
411 000 m³/an G.-D.



Surfaces forestières (région fonctionnelle)

- . Forêts de feuillus : 205 809 ha
- . Forêts de résineux : 83 985 ha
- . Forêts mixtes : 113 944 ha

Surfaces forestières (Grand-Duché)

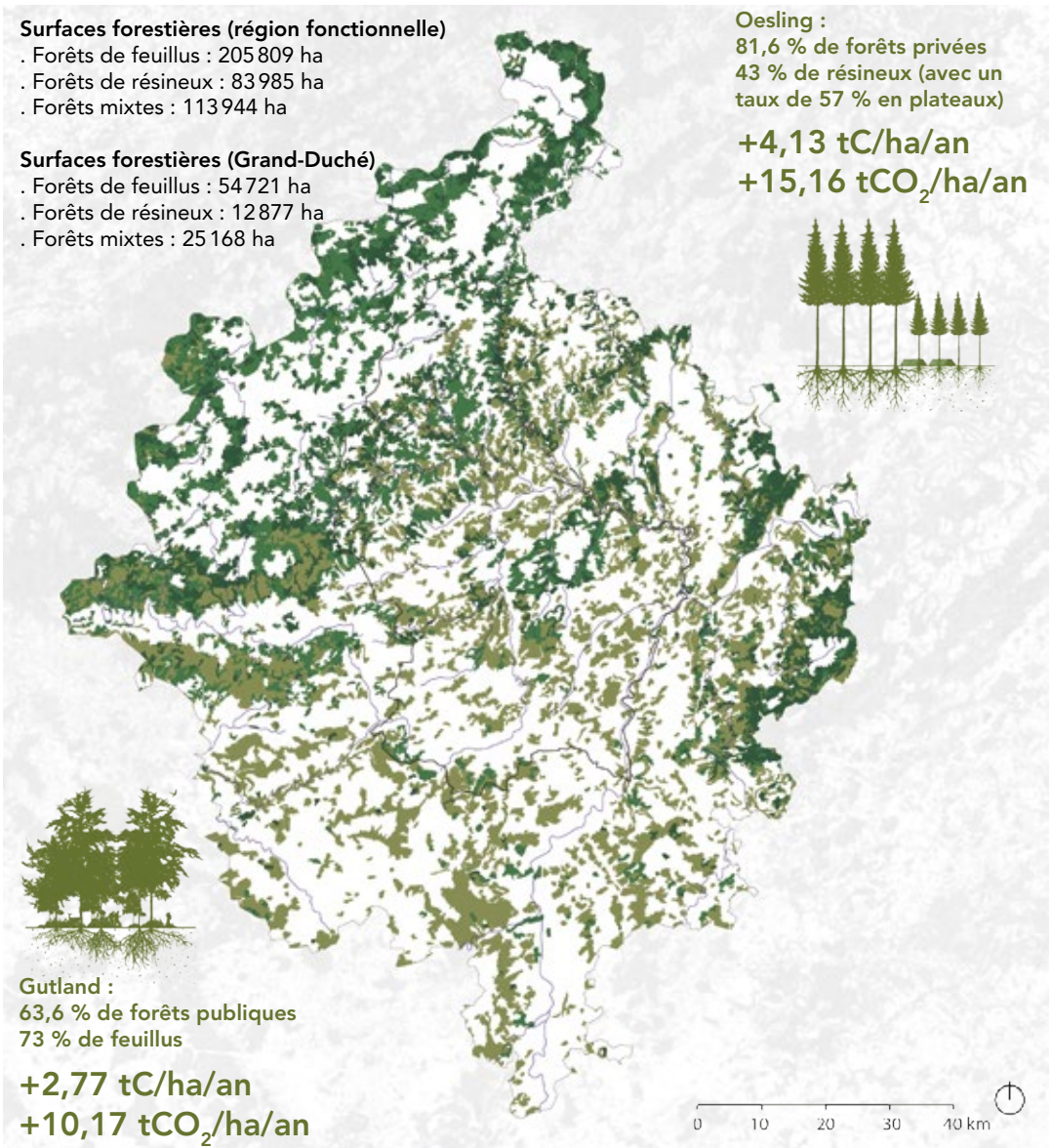
- . Forêts de feuillus : 54 721 ha
- . Forêts de résineux : 12 877 ha
- . Forêts mixtes : 25 168 ha

Gutland :

- 63,6 % de forêts publiques
- 73 % de feuillus

+2,77 tC/ha/an
+10,17 tCO₂/ha/an

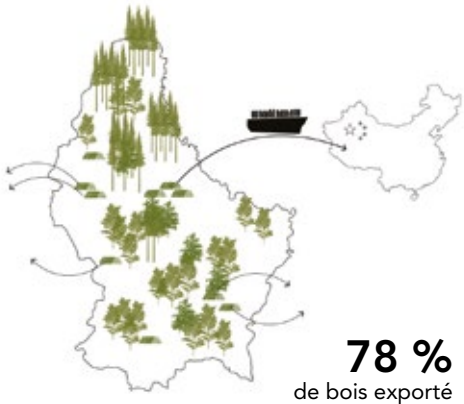
■ Forêts de feuillus ■ Forêts mixtes ■ Forêts de résineux



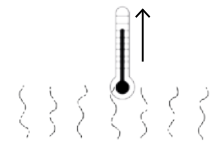
Oesling :

- 81,6 % de forêts privées
- 43 % de résineux (avec un taux de 57 % en plateaux)

+4,13 tC/ha/an
+15,16 tCO₂/ha/an



78 %
de bois exporté

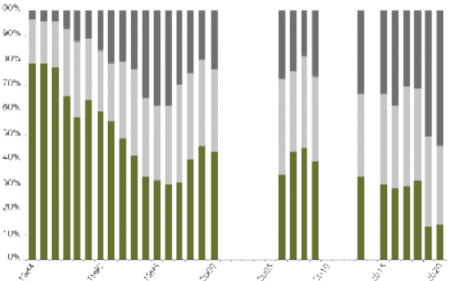


Risque climatique



Essences à risques :
Épicéas : 21 % au G.-D.
Hêtres : 30 % au G.-D.

Mauvais état des forêts



Les forêts

La présence forestière est très importante au cœur de la région fonctionnelle. Les forêts s'implantent sur 403 738 ha et représentent 37 % de la région fonctionnelle. Si toutes les forêts étaient exploitées régulièrement, la capacité de séquestration carbone de ces espaces serait de 1,25 MtC/an et 4,60 MtCO₂/an. Si ces surfaces forestières étaient conservées et régulièrement exploitées, la capacité de séquestration par personne et par an serait de 1,06 tCO₂ (2,01 tCO₂ en comptant le stock carbone des produits bois).

UNE GESTION PRO-SYLVA

Une gestion proche de la nature est privilégiée dans une grande partie des forêts luxembourgeoises. Cette gestion pro-sylva est appliquée dans les forêts publiques par l'Administration de la Nature et des Forêts. Cette sylviculture vise à « atteindre les objectifs suivants :

- présence de bois forts sur la majorité de la surface forestière ;
- récolte par arbre ou groupe d'arbres, et non par peuplement ;
- mélange d'essences d'âges multiples adaptées ;
- maintien du sol dans un état optimal (durable) de conservation et de production. »¹

Cette gestion assure une diversité d'âges et devrait également assurer une diversité d'essences. Cependant, la régénération naturelle, aujourd'hui majoritaire, limite la diversité d'essences à court terme. Au Luxembourg, bien que l'inventaire forestier

réalisé en 2009-2011 ait identifié une quarantaine d'espèces ligneuses, seules trois espèces (le hêtre, l'épicéa commun et les chênes indigènes) représentent 78 % de la surface totale².

DES FORÊTS EN DANGER

Les forêts luxembourgeoises sont soumises à de forts risques notamment liés au réchauffement climatique : intempéries de plus en plus violentes, catastrophes naturelles et phénomènes climatiques violents plus fréquents, climat plus chaud et sec... **En lien avec les phénomènes de sécheresse, on observe une prolifération de parasites, notamment de scolytes, qui ravagent les forêts de résineux et de hêtres.**

« Une simple évaluation visuelle fait estimer à l'Administration de la Nature et des Forêts que "plus de 50 % des peuplements d'épicéas présentent maintenant un ou plusieurs foyers d'infection. Cela augmente considérablement le risque de pandémie dans les années à venir en cas de répétition des périodes de sécheresse". »³

Le manque de diversité d'essences dans les forêts, et plus encore les parcelles monospécifiques, augmente considérablement le risque de propagation de parasites.

Les peuplements vieillissants étant plus en danger, les parcelles privées non gérées présentent également un risque important, de même que les forêts vieillissantes car peu productives.

Si rien n'est fait, le risque majeur est de perdre une partie des surfaces forestières actuelles et donc de réduire le capital forestier et la capacité de séquestration du territoire. En cas de scolytes répandus, la gestion passe par une coupe des peuplements infectés générant une libération du carbone séquestré dans les bois et dans les sols mis à nu.

Le risque de perte pour 2050 est difficile à établir car le mauvais état des peuplements et la présence de scolytes n'indiquent pas forcément la mort de ces arbres. Cependant, le réchauffement climatique et le mauvais état général des forêts luxembourgeoises (53,9 % des forêts du Grand-Duché sont en 2020 nettement et/ou fortement endommagées ou mortes) pèsent sur l'avenir des épicéas (21 % des boisements au Luxembourg) tout comme sur celui des hêtres (30 %), qui souffrent fortement de la sécheresse.

La disparition de 30 % des peuplements d'ici 2050 générerait une baisse de séquestration équivalente à environ 0,60 tCO₂/personne/an.

UNE MATIÈRE PREMIÈRE EXPORTÉE

Une grande partie du bois récolté en forêt luxembourgeoise est exportée.

Si une partie de ce bois et notamment de feuillus est exportée vers les pays limitrophes (notamment la Belgique et l'Allemagne), une partie de plus en plus importante de ce bois est exportée vers la Chine. Un exploitant forestier

rencontré lors d'une visite de site nous expliquait que les acheteurs chinois achetaient à prix intéressants, tout en étant moins exigeants sur l'état et la qualité des bois que les scieries allemandes et belges.

En 2020, sur 341 900 m³ de bois brut récoltés, 265 200 m³ furent exportés, (soit 78 %), tandis que 695 200 m³ de bois brut étaient importés la même année.⁴ Aujourd'hui, trois scieries seulement existent encore au Luxembourg, principalement des scieries de résineux. À titre de comparaison, en 1945, le Grand-Duché accueillait 45 scieries. Ces scieries étaient principalement des petites scieries (entre 1 000 et 5 000 m³/an)⁵.

UNE ÉVOLUTION DE LA FILIÈRE BOIS

En 2016, la création de la plateforme Wood Cluster indiquait une réelle volonté de revaloriser et d'aider au redéveloppement d'une filière locale. Cette plateforme permet de mettre en réseau les différents acteurs de cette filière (1 500 entreprises identifiées). Elle permet également de regrouper et partager les connaissances sur cette filière et sera un acteur important pour une évolution du secteur bois au Luxembourg.

¹ Source : circulaire ministérielle du 3 juin 1999 concernant les lignes directrices d'une sylviculture proche de la nature.

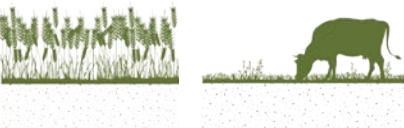
² Inventaire forestier national au Grand-Duché de Luxembourg 2009-2011.

³ *Luxemburger Wort*, « L'avenir des forêts d'épicéas menacé par les scolytes », 3 septembre 2019.

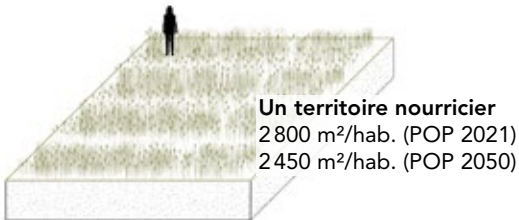
⁴ Source : Statec.

⁵ Source : *Écho des entreprises* n°5, octobre 2016 - article « La filière bois au Luxembourg, renouveau d'un secteur historique » (fedil-echo.lu 05-2016).

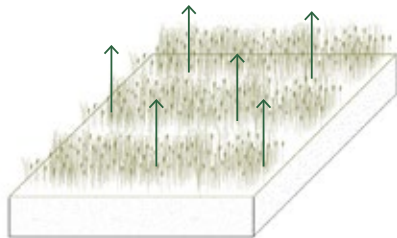
Les espaces agricoles



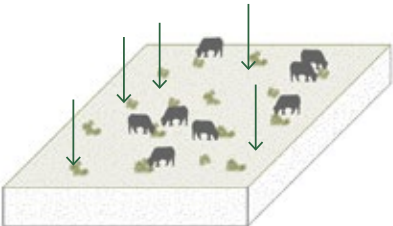
52 % de la région fonctionnelle
559 571 ha



2 800 m²/hab.



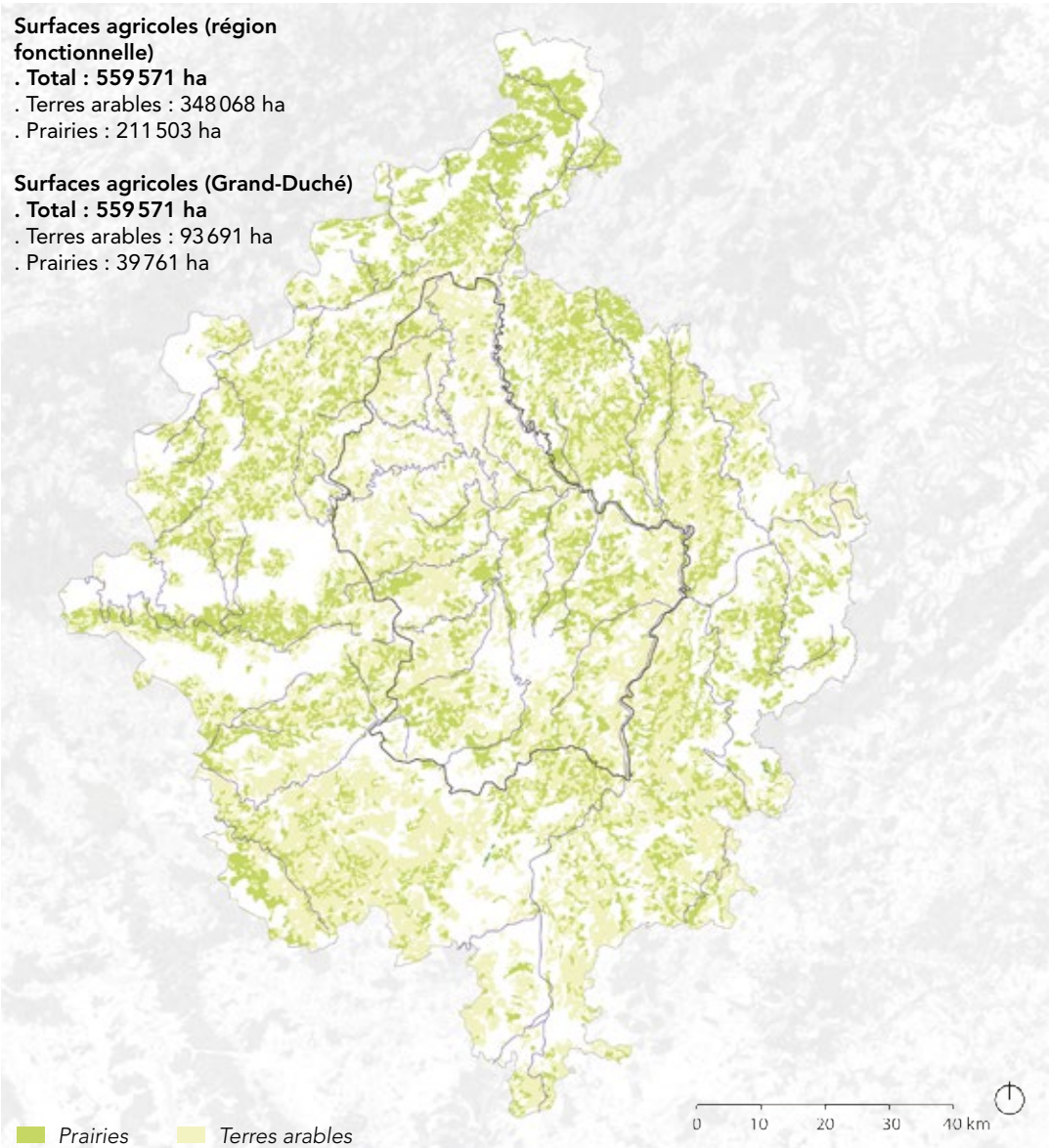
-0,17 tC/ha/an
-0,62 tCO₂/ha/an



+0,11 tC/ha/an
+0,40 tCO₂/ha/an

Surfaces agricoles (région fonctionnelle)
. Total : 559 571 ha
. Terres arables : 348 068 ha
. Prairies : 211 503 ha

Surfaces agricoles (Grand-Duché)
. Total : 559 571 ha
. Terres arables : 93 691 ha
. Prairies : 39 761 ha



Une agriculture délocalisée



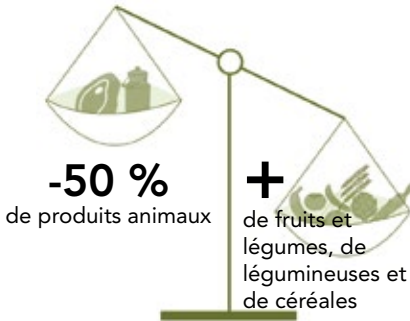
97 % de fruits et légumes importés

Une agriculture intensive



3,2 % de production biologique

Un régime alimentaire à changer



Les espaces agricoles

Les surfaces agricoles représentent aujourd’hui 52 % de la région fonctionnelle, soit 559 571 ha : 348 068 ha de terres arables et 211 503 ha de prairies. À l’échelle de la région fonctionnelle et de sa population, ces surfaces représentent aujourd’hui 2 800 m² de terres agricoles par habitant (2 450 m²/habitant en 2050). **Ces surfaces importantes sont une réelle opportunité pour une potentielle relocalisation de l’agriculture afin de sécuriser l’approvisionnement alimentaire du Luxembourg et de sa région fonctionnelle.**

IMPACT CARBONE DE L’AGRICULTURE

Le secteur de l’agriculture est le 3^e secteur responsable des émissions de gaz à effet de serre à l’échelle du Luxembourg après les secteurs du bâtiment et de la mobilité. Pourtant, l’agriculture, notamment grâce à des sols riches, peut jouer un rôle dans la séquestration carbone. Si aujourd’hui les sols des terres arables, cultivées majoritairement de manière intensive, ont plutôt tendance à perdre du carbone (en moyenne 0,62 tCO₂/ha/an - synthèse de Pellerin et al., 2020), le développement d’une agriculture écologique limitant les intrants chimiques permettrait d’augmenter la biomasse sur les sols et ainsi de renforcer leur capacité de séquestration (+0,55 tCO₂/ha/an). Les prairies ont également un rôle séquestrant quantifié à 0,40 tCO₂e/ha/an.

UNE AGRICULTURE INTENSIVE ET DÉLOCALISÉE

L’agriculture intensive, par la mécanisation, le remembrement parcellaire et l’utilisation massive d’intrants chimiques (en 2015, seuls 3,2 % des surfaces agricoles sont en production biologique), a transformé les paysages agricoles en développant massivement la monoculture et en réduisant la présence d’arbres dans les champs, détruisant petit à petit les maillages bocagers... Elle contribue ainsi fortement au réchauffement climatique et aux émissions de CO₂, à la pollution des sols et des eaux et à l’érosion de la biodiversité.

Le Luxembourg présente ainsi aujourd’hui une agriculture peu diversifiée (céréales et élevages bovins), ainsi qu’une présence majeure de grandes et très grandes exploitations (53 % des exploitations supérieures à 50 hectares¹).

Cette logique industrielle a entraîné une délocalisation des productions agricoles. Aussi, aujourd’hui, au Luxembourg, seulement 3 % des fruits et légumes consommés sont produits localement¹.

DES MONOCULTURES À RISQUES

Le peu de diversification de l’agriculture entraîne un risque pour la qualité des sols et des eaux. Peu résilientes, ces monocultures sont également risquées pour les agriculteurs (en 2020, avec le

réchauffement climatique, les moissons ont été globalement mauvaises et les rendements céréaliers réduits de 20 à 30 % en moyenne).

RÉGIME ALIMENTAIRE

Le régime alimentaire actuel génère une surconsommation de protéines et de sucres et est fortement centré autour des aliments d’origine animale. Le régime Afterres2050, qui a servi de base de calcul pour une relocalisation et une éventuelle autonomie alimentaire, « propose de réduire de 50 % notre surconsommation totale en protéines ; de réduire de 14 % à 11 % (pour 10 % conseillés) le rôle du sucre dans nos apports énergétiques ».²

Régime en 2010 ² (g/personne/jour)	Afterres2050
Céréales : 281	340
Pommes de terre : 58	49
Sucres : 21	19
Graisses animales : 11	8
Abats : 3	1
Légumineuses : 10	41
Huiles : 15	17
Légumes : 139	170
Fruits : 160	196
Boissons alcooliques : 155	113
V viande : 185	94
Produits laitiers : 235	122
Œufs : 15	11

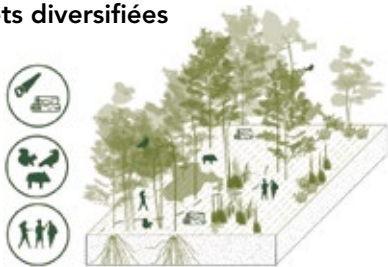
(Hors aliments n’ayant pas de potentiel de production locale : café, cacao, poissons et fruits de mer, épices.)

¹ Source : Statec.
² Le scénario Afterres2050, version 2016, Solagro.

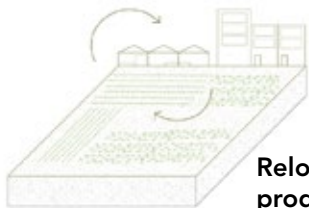
2050, des espaces naturels résilients



Des forêts diversifiées



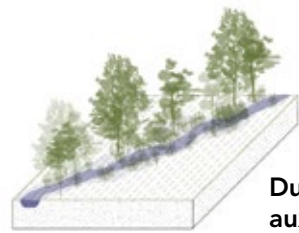
Des forêts multifonctionnelles



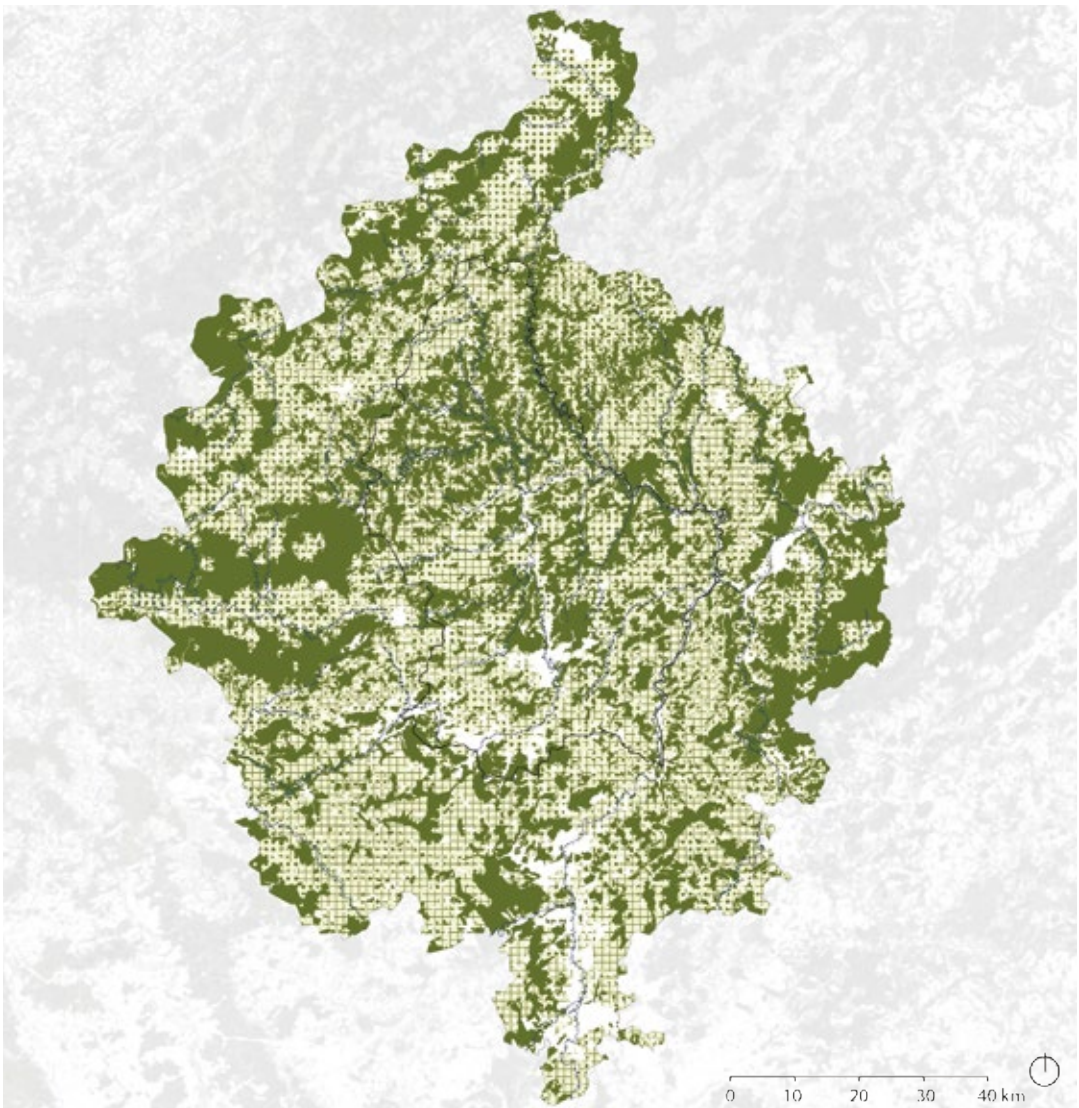
Relocaliser la production agricole



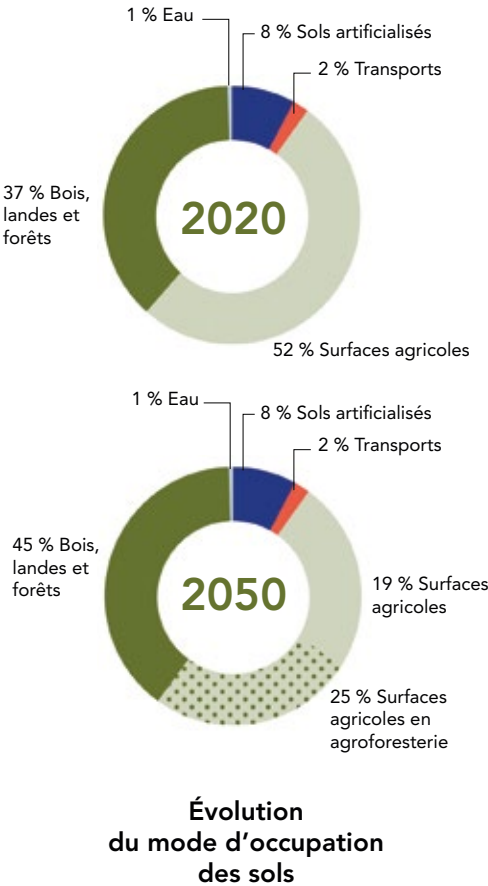
Déploiement massif de l'agroforesterie



Du massif aux lanières



■ Forêts diversifiées	▤ Agroforesterie intraparcellaire	▦ Maillage bocager, haies	— Cours d'eau reboisés
Forêts diversifiées 10,83 tCO ₂ /ha/an Biodiversité Indice de Shannon : 3,5 diversité d'arbres : 15-30 es	En cultures annuelles 2,94 tCO ₂ /ha/an Préverger 2,94 tCO ₂ /ha/an	En cultures annuelles 3,85 tCO ₂ /ha/an En prairies 3,85 tCO ₂ /ha/an	Ripisylve 10 premières années : 12,85 (sol) + 11.01 (végétation) = 23,86 tCO ₂ /ha/an 10-50ans : 11,01 (sol) + 7.34 (végétation) = 18,36 tCO ₂ /ha/an



2050, des espaces naturels résilients

La décarbonation du Luxembourg passe par un double enjeu : réduire les émissions de carbone et augmenter la capacité de séquestration des territoires. Pour ce second enjeu, les territoires forestiers et agricoles constituent un levier essentiel, en tant que fournisseurs de matières premières de la transition écologique et séquestrateurs de carbone.

Les territoires forestiers permettraient, par une relocalisation d'une filière bois locale, de fournir un matériau biosourcé, qui, utilisé comme bois d'œuvre, assure un stockage long du carbone, réduisant d'éventuelles émissions liées à l'utilisation de matériaux plus carbonés (béton, acier, matériaux plastique...) et au transport de marchandises exportées et importées.

Les territoires agricoles permettent quant à eux d'assurer la relocalisation d'une production alimentaire de qualité à travers le développement d'une agriculture diversifiée, de l'agroécologie et de l'agroforesterie. La transformation du modèle de production permettrait d'assurer une sécurité alimentaire ainsi qu'un modèle plus facilement adaptable et résilient aux évolutions climatiques. Cette relocalisation passe par un changement des comportements alimentaires et ne sera possible qu'à travers des mesures d'accompagnement vers un régime moins carné.

Ces grands paysages, agricoles et forestiers, sont également des séquestrateurs de carbone. Une future neutralité carbone implique d'assurer la capacité de ces territoires à séquestrer du carbone en augmentant la capacité

de séquestration des territoires agricoles aujourd'hui peu séquestrants, voire émissifs.

DES FORÊTS DIVERSIFIÉES

Comme vu plus tôt, un grand risque pèse aujourd'hui sur les forêts du Luxembourg. Le peu de diversité d'essences, la monospécificité d'un grand nombre de parcelles, associés au réchauffement climatique et à l'augmentation d'épisodes météorologiques extrêmes (sécheresse, inondations...), impliquent de redévelopper des forêts résilientes. **Cette résilience passera nécessairement par la diversification des forêts actuelles en termes d'âges mais aussi d'essences.**

Cette diversification devrait assurer une pérennité aux surfaces forestières en place, afin de conserver leur rôle de puits de carbone. Elle permettra d'augmenter le nombre d'espèces présentes au cœur de ces forêts, favorisant le développement d'un écosystème riche à la biodiversité puissante.

DES FORÊTS MULTIFONCTIONNELLES

Aujourd'hui plus que jamais sous pression, les forêts sont les lieux de velléités multiples. Elles se doivent d'être à la fois lieux communs, espaces d'usages pédagogiques, touristiques et sportifs, espaces de bien-être, de santé, tout en fournissant des matières premières (bois, nourriture...), en servant de refuges à la biodiversité, en séquestrant le carbone et en régulant localement le climat...

La plateforme Wal-ES.be donne un aperçu de la diversité des biens et services assurés par les écosystèmes forestiers à travers trois grands thèmes : les services de production, les services de régulation

et les services culturels. Pour une décarbonation du Luxembourg, ainsi que pour assurer des services socio-écologiques, la gestion de la forêt de demain doit permettre un réel équilibre entre ces services. Un taux moyen de 70 % de prélèvement (par rapport au taux d'accroissement) sera assuré, permettant une augmentation de la production tout en assurant la récolte de bois de forte dimension et de bois vieillissant.

Le redéveloppement d'une filière bois de feuillus sera nécessaire pour assurer une production et une utilisation locales.

RELOCALISER LA PRODUCTION AGRICOLE

La décarbonation du Luxembourg passe par une relocalisation de la production alimentaire. Les productions agricoles luxembourgeoises doivent évoluer afin de répondre aux besoins alimentaires locaux, à travers le développement de l'agroécologie et de la polyculture. Moyennant un changement de régime alimentaire (Afterres2050), 986 m² de terres cultivées et 751 m² de prairies permettraient de nourrir une personne pendant un an. Les surfaces agricoles de la région fonctionnelle (2 450 m²/habitant en 2050) sont ainsi suffisantes pour viser une quasi-autonomie alimentaire (hors produits non cultivables localement, produits exotiques, produits de la mer...).

DÉPLOIEMENT MASSIF DE L'AGROFORESTERIE

La transition agricole, en développant notamment les productions maraîchères et fruitières, transformera spatialement les territoires. Le déploiement de

l'agroforesterie accompagnera cette transition. Elle permet d'assurer une plus grande séquestration de carbone au cœur des terres agricoles, tout en protégeant les sols et les eaux. Cette agroforesterie diversifiera la production agricole avec la production de bois d'œuvre et de bois énergie. **L'étude propose, sur les surfaces agricoles dédiées à l'alimentation locale, le développement de 20 % d'agroforesterie intraparcellaire et de 40 % de cultures avec haies d'ici 2050.** L'étude vise également le reboisement d'une partie des surfaces agricoles restantes (50 %), l'autre moitié restant dédiée à l'exportation.

DU MASSIF AUX LANIÈRES

Les massifs forestiers actuels sont fragmentés par les réseaux routiers, les surfaces urbaines, industrielles et économiques, les surfaces agricoles. Le redéveloppement de maillages bocagers permettrait de déployer des connexions écologiques linéaires entre les massifs. Le redéveloppement de lanières boisées au cœur des zones artificialisées assurera aussi une perméabilité de ces zones tout en assurant des continuités fonctionnelles permettant le fonctionnement de métaécosystèmes. Dans le contexte du changement climatique, ces lanières assureront une bonne mobilité des espèces, très importante pour leur permettre de rejoindre des espaces refuges. Parmi ces milieux linéaires, **les cours d'eau et milieux humides boisés sont les plus efficaces pour séquestrer durablement du carbone.** Redonner de la place aux cours d'eau, rouvrir les anciens cours et les reboiser renforcera la séquestration carbone tout en assurant des connexions écosystémiques.

Des forêts résilientes



Forêt gérée de résineux
4,13 tC/ha/an = 15,16 tCO₂/ha/an
Indice de Shannon : moins de 1,4
Essences d'arbres : 1

Forêt diversifiée
2,95 tC/ha/an = 10,83 tCO₂/ha/an
Indice de Shannon : 3,5
Essences d'arbres : 15 minimum



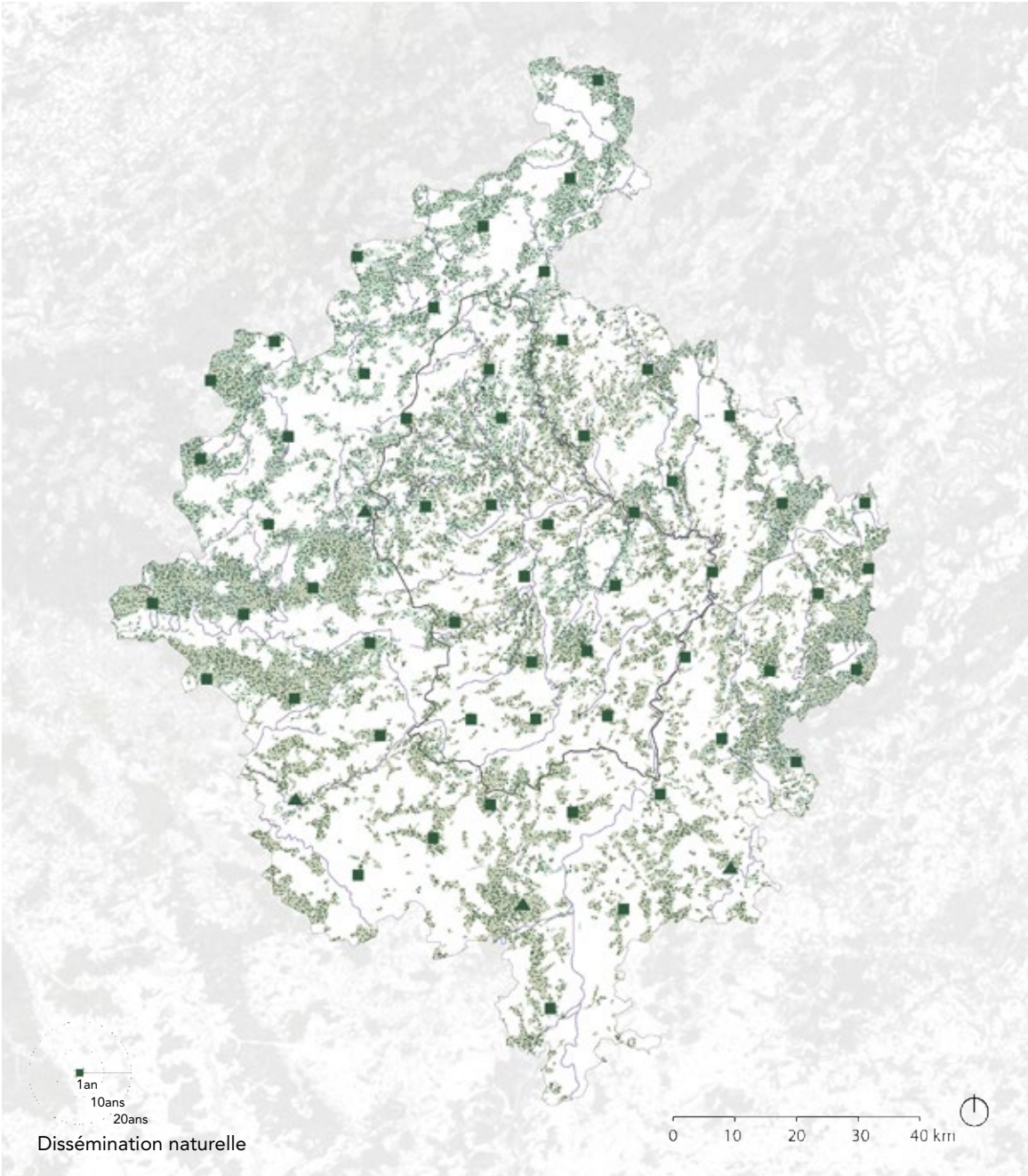
Forêt gérée de feuillus
2,77 tC/ha/an = 10,17 tCO₂/ha/an
Indice de Shannon : 1,4
Essences d'arbres : 2-10
(avec 2 majeures : hêtres et chênes)

Forêt diversifiée
2,95 tC/ha/an = 10,83 tCO₂/ha/an
Indice de Shannon : 3,5
Essences d'arbres : 15 minimum



Coupe rase :
+ tC/ha/an
Indice de Shannon: proche de 0
Essences d'arbres = 0

Forêt diversifiée
2,95 tC/ha/an = 10,83 tCO₂/ha/an
Indice de Shannon : 1,5
(tendra vers 3,5 au fil du temps)
Essences d'arbres : 15 minimum



▲ Parcelles tests existantes (France - Belgique) ■ Îlots-laboratoires à créer ● Dissémination progressive

Des forêts résilientes

La tendance de gestion actuelle au Luxembourg est une gestion proche de la nature, notamment dans les forêts publiques où la gestion pro-sylva est la norme. Cette gestion met en avant une régénération naturelle. **Afin d'assurer une adaptation des forêts et au vu de la vitesse du réchauffement climatique, bien plus rapide que les processus d'adaptation biologique, la forêt doit être aidée.**

REMETTRE DE L'HÉTÉROGÉNÉITÉ DANS LE SYSTÈME FORESTIER

Le dépérissement des forêts luxembourgeoises lié au changement climatique ainsi qu'à la monétisation est une opportunité pour faire évoluer les quelques pratiques encore industrielles vers une gestion plus proche de la nature, et de développer des peuplements diversifiés assurant un renforcement de la biodiversité de nos écosystèmes, une plus grande capacité d'adaptation et une meilleure résistance au changement climatique, aux pathologies et insectes xylophages.

ÎLOTS LABORATOIRES

La diversification des forêts peut passer par l'intégration d'îlots-laboratoires. Ces îlots permettent de tester l'intégration de nouvelles espèces et de forcer une réelle mixité d'essences au cœur des forêts. **Répartis à travers le territoire de la région fonctionnelle, ces îlots permettraient de tester différentes situations, différents types de migration assistée** (migration assistée de provenance qui propose de planter des essences indigènes récoltées dans des lieux au climat plus méridional,

et migration assistée d'essences permettant de tester de manière contrôlée l'intégration d'essences exotiques). Des essences résistantes à la sécheresse et pouvant être valorisées dans la filière bois seraient à privilégier.

Ces îlots joueront un double rôle, à la fois expérimental - permettant d'évaluer les capacités d'adaptation des espaces forestiers - et opérationnel car ils permettront de réagir rapidement en cas de disparition de peuplements. Le développement de banques de graines et de pépinières accompagnera cette stratégie, assurant la disponibilité de matériel forestier divers. Des échanges avec les pays voisins seront également nécessaires afin de partager les connaissances et analyses avec des laboratoires déjà effectuées (ex : FutureForEst et Renaissance en France, Arboretums en Belgique, etc.). Différentes situations de tests peuvent être envisagées.

- Îlots sur coupe rase (scolytes...).
- Îlots au cœur de massifs existants (couvert continu) : diversification par martelage.
- Du nord au sud, dans des peuplements irréguliers de feuillus, dans des peuplements réguliers de résineux...

Quelle que soit la situation de départ, la forêt résiliente par la biodiversité est à privilégier.

- **Maximiser le nombre d'espèces exploitables** : plus le nombre d'espèces est élevé, plus la

productivité du peuplement tend à se rapprocher du maximum théorique possible, et plus sa résistance aux pathogènes, à la sécheresse, aux coups de vent est forte, ce qui confère également à l'exploitation forestière une résilience économique.

- **Optimiser la structure génétique intra-spécifique** : passer à la régénération naturelle sans s'interdire des semis artificiels (les groupes génétiques locaux sont *a priori* les plus adaptés aux conditions locales de croissance). La régénération naturelle permet de conserver la totalité des caractères génétiques locaux alors que les plants issus de pépinières ont été l'objet d'une sélection.
- **En cas de réintroduction d'espèces locales (dans leur aire de distribution actuelle), recourir également à des plants obtenus dans les zones les plus méridionales des aires de distribution** (les groupes génétiques méridionaux sont adaptés, au moins partiellement, aux conditions futures engendrées par le réchauffement climatique).
- **Tester dans des conditions de terrain aussi contrôlées que possible l'introduction d'espèces exogènes**, de préférence des zones méridionales de l'Europe, en anticipation des effets du changement climatique.

DISSÉMINATION NATURELLE

Les îlots-laboratoires seront les premiers pas d'une diversification forestière. La dissémination naturelle assurera par la suite l'expansion des

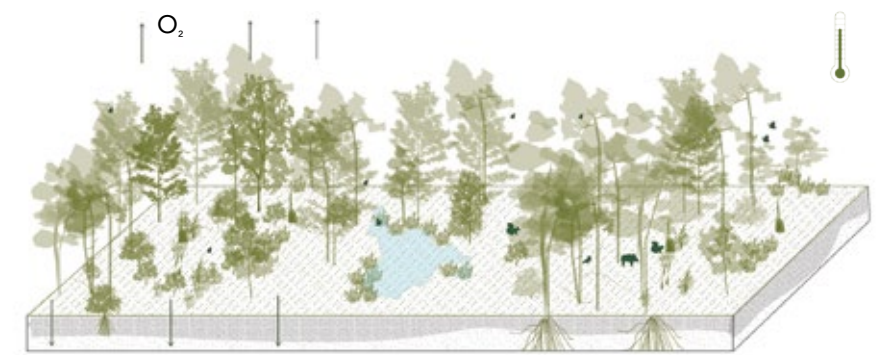
essences testées. La distance connue de dispersion des graines chez les espèces ligneuses, qui varie entre 100 et 700 mètres par an (European Commission for Agriculture and Rural Development, 2008), nous permet d'évaluer un nombre d'îlots-laboratoires à mettre en place pour assurer d'ici 2050 une potentielle dissémination à travers tout le territoire. **En prenant une moyenne de 400 m/an, soit 8 000 m (entre 2030 et 2050), une cinquantaine d'îlots-laboratoires de minimum 1,5 ha devraient être installés à travers le territoire.**

Les îlots-laboratoires ne sont pas les seuls outils de diversification des massifs forestiers. Celle-ci peut également se faire « en acupuncture » : lorsqu'un arbre est coupé, on peut « forcer » l'intégration d'autres essences par plantation. Une diversification de provenance sera alors privilégiée.

Des forêts multifonctionnelles



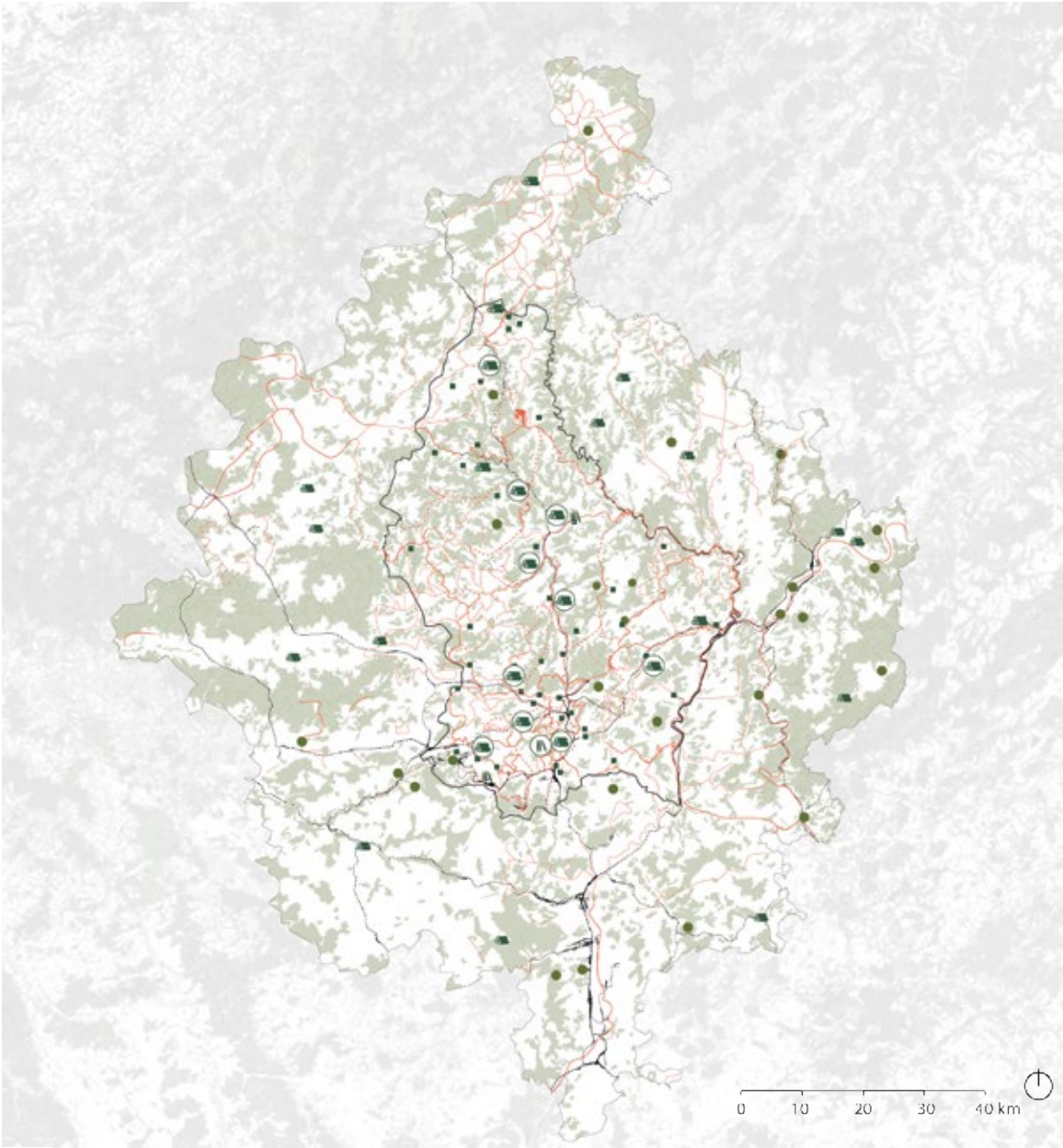
Services de production



Services de régulation



Services culturels



- | | | |
|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Pistes cyclables nationales | Pistes cyclables régionales | Pistes cyclables à créer |
| Filière bois au Luxembourg | Scieries | Futures scieries |
| Loisirs/sport | Lieux de formation | Lieux de formation à créer |

Des forêts multifonctionnelles

MULTIFONCTIONNALITÉ DES FORÊTS : DES MILIEUX HYBRIDES, CULTIVÉS ET CULTURELS

L'importance des forêts dans la transition climatique implique de trouver le bon équilibre entre leurs différents services écosystémiques : entre fonctions écologiques, productives et sociales. L'objectif est d'assurer un niveau relativement important de production tout en assurant valeur écologique et sociale.

PRODUCTION MATÉRIELLE

Les forêts en tant que puits de carbone portent un rôle essentiel dans la décarbonation du territoire. Elles sont des lieux ressources nécessitant d'être exploités afin d'assurer une séquestration maximale. Si les arbres puisent et séquestrent le carbone au cours de leur croissance, arrivés à maturité leur potentiel de séquestration est diminué.

La récolte des boisements à maturité afin de replanter ou de laisser se régénérer de jeunes pousses assure alors une capacité de séquestration continue des forêts.

Le bois récolté, véritable « tombeau de carbone » lorsqu'il est utilisé comme bois d'œuvre, permet de stocker durablement du carbone.

Taux de prélèvement idéal : 70 % du taux d'accroissement.

UNE FILIÈRE BOIS LOCALE À REDÉVELOPPER

Avec seulement trois scieries (majoritairement de résineux), la filière bois luxembourgeoise n'est pas en adéquation avec le potentiel matériel des forêts. Une décarbonation du Luxembourg passera par une utilisation du bois local : résineux et feuillus. Cette relocalisation de la production nécessitera notamment le redéveloppement de la filière feuillus et l'utilisation de ce bois dans les secteurs de la construction.

Avec un accroissement actuel au Luxembourg de 758 000 m³/an de bois fort total, si un prélèvement moyen de 70 % est obtenu, le prélèvement annuel serait de 530 600 m³/an, et nécessiterait l'implantation massive de petites et moyennes scieries (entre 5 000 et 15 000 m³/an).

Ce prélèvement optimal ne permet toutefois pas de compenser à 100 % les 695 200 m³ importés (Statec, 2020).

La diversification forestière, en plus d'assurer une résilience, une meilleure résistance et d'augmenter la biodiversité des forêts, permettra d'augmenter les rendements de ces espaces productifs.

Les forêts sont des stocks de carbone - elles produisent un matériau qui peut fixer ce carbone s'il est utilisé comme matériau de construction - un matériau qui nécessite moins d'énergie grise à

produire et à transformer que d'autres matériaux de construction (béton, acier, matériaux plastique...).

FORMATION ET PARTAGE DES CONNAISSANCES

La disparition progressive de la filière de feuillus s'accompagne de la perte du savoir-faire nécessaire à son redéveloppement. La mise en réseau des acteurs et le partage des savoir-faire et connaissances existants (Lycée technique agricole d'Ettelbruck, Luxembourg Wood Cluster, réseaux européens...) seront un riche levier. Le développement de cette filière nécessitera la création de nouveaux emplois et le développement de formations associées à cette filière : exploitation forestière, scieries, construction bois, menuiseries, etc.

SERVICES ÉCOLOGIQUES

La diversification des essences et la gestion proche de la nature, générant des forêts diversifiées en classes d'âges et en essences, assurent de nombreux milieux refuges et une diversité biologique. **L'équilibre entre les différents services écosystémiques implique de développer des modes de production permettant de préserver les services écologiques rendus par la forêt** (débardage à cheval, prélèvement arbre par arbre, préservation d'arbres morts).

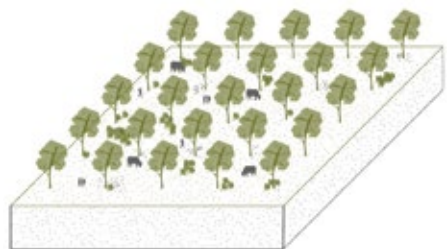
SERVICES SOCIAUX ET CULTURELS

La forêt est également un espace social, et doit demeurer un bien commun accessible à tous. Elle est un lieu équipé, accueillant des parcours vélo, des randonnées, des programmes sportifs et culturels. Au Luxembourg, la relation entre les citoyens et la forêt est particulièrement forte. Les forêts sont des espaces fortement protégés, ce qui explique peut-être que l'expansion urbaine se soit plutôt développée sur les territoires agricoles. Elles portent un rôle pédagogique accueillant des centres de sensibilisation à la forêt et à la nature (ANF, Natur&ëmwelt...) ou encore des écoles en forêt (Waldschoul).

La proximité des forêts est reconnue comme un bienfait pour la santé humaine. Elles sont des lieux de ressourcement, des espaces calmes à valoriser. On observe depuis quelques années un engouement pour des pratiques comme la sylvothérapie qui met en avant le rôle thérapeutique des forêts. L'accès à ces espaces devient un luxe valorisant la frugalité et un changement culturel. L'accès des modes actifs aux forêts devra être assuré en favorisant la promenade, l'écomobilité et un tourisme durable. **Les co-présences entre services sociaux et services de production permettront des rencontres pédagogiques et culturelles autour des différents rôles de la forêt.**

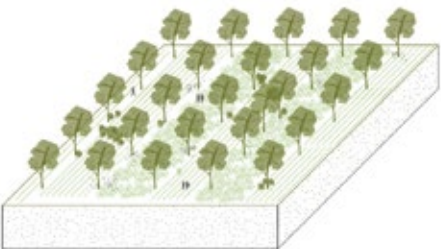
Un territoire agricole résilient

30-50 arbres/ha
Conversion : 2,94 tCO₂/ha/an
Stock à l'équilibre (à 50 ans) : 275 tCO₂/ha



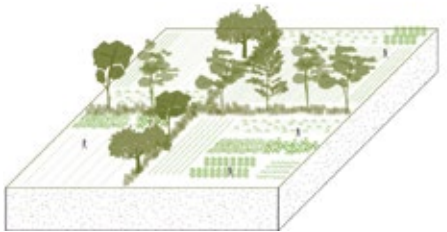
Préverger
Agroforesterie intraparcellaire

30-50 arbres/ha
Conversion : 2,94 tCO₂/ha/an
Stock à l'équilibre (à 50 ans) : 275 tCO₂/ha



Agroforesterie intraparcellaire

30-50 arbres/ha
Conversion : 3,85 tCO₂/ha/an
Stock à l'équilibre (à 50 ans) : 338 tCO₂/ha

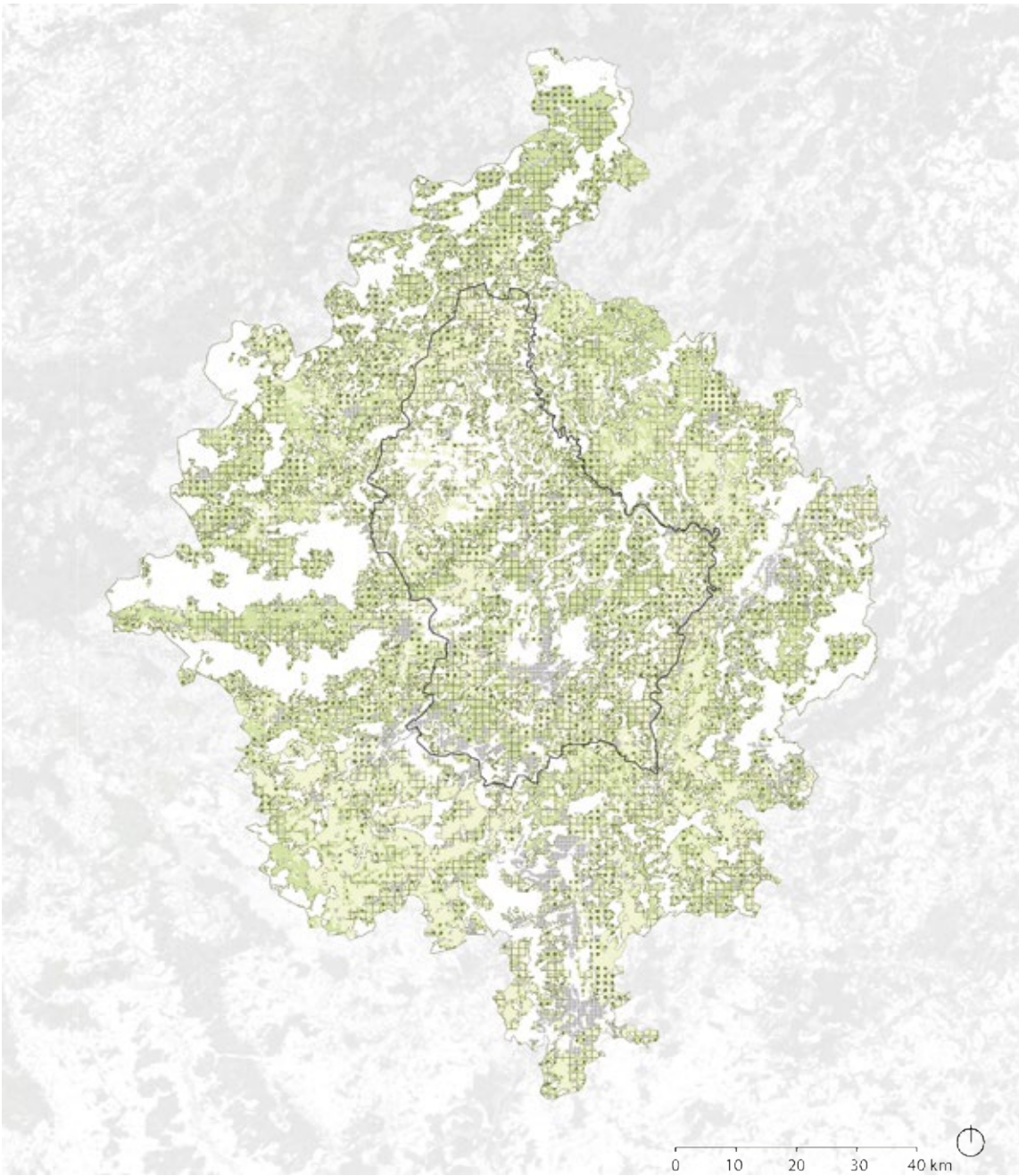


Maillage bocager
Agroforesterie interparcellaire

50-100 arbres/ha
Conversion : 7,70 tCO₂/ha/an
Stock à l'équilibre (à 50 ans) : 477 tCO₂/ha



Forêt-jardiné
Agroforesterie intraparcellaire



Agroforesterie intraparcellaire Maillage bocager Terres arables Prairies Reboisement de lisières

Un territoire agricole résilient

MANGER LOCAL ET DURABLE

Dans la perspective d'un Luxembourg neutre en carbone d'ici 2050, un changement de régime alimentaire sera nécessaire (Afterres2050).

Cette perspective implique également de renforcer et de développer une relocalisation de la production alimentaire, d'assurer l'existence de circuits de proximité, ainsi que de diversifier les cultures. Cela implique une diversité dans le temps et dans l'espace et permet d'assurer au territoire agricole une certaine résilience. La diversité permet d'éviter la perte complète d'une production (maladies, sécheresses...) et ainsi, à terme, de sécuriser les revenus des producteurs.

DES SOLS SÉQUESTRANTS POUR UNE RÉSILIENCE AGRICOLE

Si les prairies permettent un taux de séquestration carbone moyen de 0,40 tCO₂/ha, les terres arables intensives sont en revanche généralement émissives. **L'adaptation des cultures vers des systèmes de production agroécologique réduisant les intrants chimiques favorisera une couverture permanente des sols** et un apport de matière organique par une augmentation de l'humus dans les sols. Elle assurera ainsi un stock de carbone plus important dans les sols. Cette présence accrue de carbone dans les sols augmente par ailleurs leur fertilité, favorisant une augmentation de la production.

Des sols plus riches en matière organique et donc en carbone assurent, de plus,

une meilleure résistance à l'impact des dérèglements climatiques.

PROMOUVOIR L'AGROFORESTERIE

La conversion d'une partie des espaces productifs en systèmes agroforestiers permettra d'augmenter le stockage de carbone grâce à la biomasse ligneuse. Cette agroforesterie peut se développer sous différentes typologies.

- **Des plantations interparcellaires** (haies bocagères). L'étude compte 100 ml de haie/ha de prairies et 60 ml de haie/ha de cultures.¹
- **Des plantations intraparcélaires :**
 - > Culture intercalaire ou prairie intercalaire. L'étude compte des plantations de faible densité : 30-50 arbres/ha.¹
 - > Forêt jardinée, cultivée : 50-100 arbres/ha.

Ces systèmes agroécologiques et agroforestiers assurent un renforcement de la biodiversité en place tout en créant des relais écologiques entre les différents massifs forestiers. Ces systèmes permettent une économie d'eau en conservant des sols humides et assurent également via les systèmes racinaires une meilleure retenue des sols, permettant une agriculture plus résistante aux grandes intempéries et aux catastrophes climatiques. Avec ces sols plus humides et les réseaux de haies et d'arbres, ces systèmes permettent une régulation climatique

tout en protégeant des vents les cultures.

TRANSFORMATION SPATIALE ET MULTIFONCTIONNALITÉ

Transformer les modes de production agricole implique inévitablement une modification des formes spatiales, un redécoupage des larges parcelles agricoles.

Cette transformation, au-delà de recréer et de renforcer des maillages écologiques, permet en outre le développement de cheminements et espaces publics. Associés à l'ouverture de fermes ouvertes, d'espaces d'échanges, pédagogiques et culturels, ces paysages agricoles deviennent des paysages multifonctionnels et partagés instillant un changement culturel. Ils permettent un rapprochement et une meilleure compréhension entre producteurs et consommateurs, vecteur important de changement de valeurs.

Nous voyons cette transition comme une opportunité de recréer des liens entre citoyens, d'inscrire cette transition comme un enjeu social en renforçant le développement de projets alimentaires territoriaux et accessibles.

¹ Source : C. Chenu et al., *Innovations Agronomiques* 37 (2014).

Biodiversité et productivité

INDICE DE SHANNON

L'augmentation de la biodiversité est complexe à démontrer. On connaît cependant les bonnes pratiques et logiques de diversification, de complexité paysagère et de connexion écosystémique renforçant cette biodiversité. Nous utilisons cet indice comme référent en prenant les valeurs de référence de milieux sensiblement similaires à ceux projetés dans l'étude. Cet indice pourra être utilisé pour évaluer la transition écologique des territoires.

L'indice de Shannon exprime la probabilité qu'a un observateur de rencontrer certaines espèces dans une communauté donnée, par exemple la végétation d'un sous-bois ou les oiseaux d'un massif forestier. Il est adapté au suivi à long terme d'une communauté.

$$H = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

H varie de 0 (une seule espèce présente) à lnS (toutes les espèces ont la même abondance).

Avec :
pi = proportion d'individus de l'espèce i
(pi = ni/N)
ni = nombre d'individus de l'espèce i
N = nombre total d'individus
S = nombre total d'espèces présentes

Il tient compte à la fois du nombre d'espèces composant cette communauté et de l'abondance relative de ces espèces.

L'indice de Shannon utilisé dans cette étude reprend des valeurs indiquant la diversité d'arbres et de végétation de sous-bois.

RELATION ENTRE BIODIVERSITÉ DES ARBRES ET PRODUCTIVITÉ

La diversification des forêts permettra d'augmenter leur résilience en vue du changement climatique. Elle permettra aussi, de même qu'une gestion différenciée de la forêt, d'augmenter leur productivité.

Une méta-analyse sur des forêts de France, Pays-Bas, Espagne, Suède et Suisse (soit 52 265 parcelles, Vila 2013), montre que la production de bois est d'autant plus forte que la diversité des arbres est élevée.

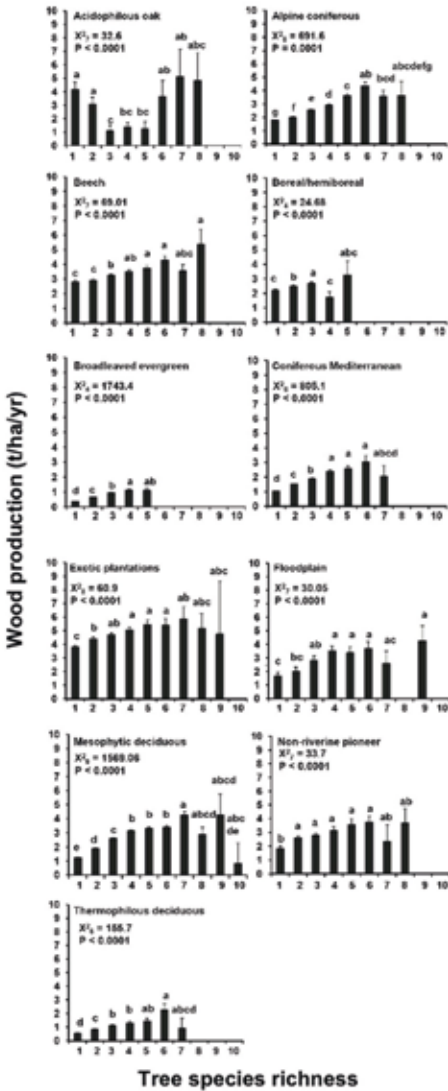


Figure 3. Tree wood production with increasing tree species richness. Values indicate LS means ($\pm$ SE). Different letters above columns indicate significant differences between stands with different species richness according to GENMOD-procedure in SAS. n.s. = not significant.
doi:10.1371/journal.pone.0053530.g003



Pommerloch, Avril 2021

Empreinte carbone du scénario f(lux) : actions sur la forêt, l'agriculture et l'alimentation

Atteindre la neutralité carbone nécessite de réduire drastiquement et rapidement les émissions de gaz à effet de serre, mais également de maintenir et de développer les moyens de séquestration de carbone, pour équilibrer certains postes d'émissions résiduelles, difficiles à éliminer totalement. Les secteurs de l'agriculture, de la forêt et de l'usage des sols sont les seuls à pouvoir actuellement retirer du carbone de l'atmosphère de manière globale et significative, et seront donc particulièrement sollicités dans cette transition¹. Les autres technologies de capture et de stockage de carbone pourraient également jouer un rôle significatif, mais sont actuellement peu déployées².

Dans ce contexte, un territoire comme la région fonctionnelle du Luxembourg peut et doit utiliser ses 90 % de surfaces agricoles et de forêts pour séquestrer un maximum de carbone dans ses sols et sa biomasse, tout en régénérant une biodiversité mise à mal par l'agriculture intensive et le réchauffement climatique. Nous avons donc étudié les stocks et les flux de carbone entre l'atmosphère, les sols et la biomasse, grâce à l'outil Aldo conçu par l'ADEME, appliqué aux données d'occupation des sols Corine Land Cover de la région³.

Nous pouvons estimer que 115 millions de tonnes de carbone sont stockées actuellement dans la région, à 65 % dans les sols et les litières (les 30 premiers centimètres et la surface des sols), et à 35 % dans la biomasse. L'oxydation de ce carbone, par exemple lors de l'artificialisation d'un sol ou de la combustion de la biomasse, générerait l'émission de plus de 400 millions de tonnes de CO₂, soit 14 fois les émissions annuelles de

la région en 2020 ou 100 fois les émissions annuelles à atteindre en 2050 dans le cadre d'une trajectoire 2°C. **Ce scénario extrême est très improbable, mais révèle à la fois l'importance de préserver ce stock et de le développer par plusieurs moyens :** stopper l'artificialisation, rendre les forêts résilientes aux conséquences du réchauffement climatique, planter de nouvelles forêts, adopter un régime alimentaire nécessitant moins de surfaces et moins d'émissions de GES, et déployer massivement l'agroforesterie et les haies bocagères sur les terres agricoles.

Nous estimons que le secteur de l'agriculture, des forêts et de l'usage des sols émet en 2020 environ 0,2 tCO₂e/pers./an, et séquestre 1,1 tCO₂e/pers./an, soit une contribution nette significative mais loin d'équilibrer les émissions de 16,1 tCO₂e/pers./an. L'artificialisation des sols et les activités agricoles sur cultures génèrent 0,1 tCO₂e/pers./an chacune, et les forêts concentrent 90 % des 1,1 tCO₂e/pers./an de séquestration⁴.

Dans le scénario tendanciel, l'augmentation de la population au Luxembourg en 2050 se traduit par une artificialisation importante, qui fait doubler ses émissions à environ 0,2 tCO₂e/pers./an. Si l'on fait l'hypothèse que cette artificialisation se fait sur des terres agricoles mais que les surfaces agricoles restent globalement constantes, l'artificialisation diminue indirectement les surfaces forestières et donc la séquestration : elles diminuent à 0,8 tCO₂e/pers./an.

¹ La majorité des scénarios +1,5°C étudiés par le GIEC nécessitent que le secteur devienne négatif en carbone à l'échelle globale (source : <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm/>).

² Le développement planifié de ces technologies pour 2030 est jugé très insuffisant par l'IEA, par rapport aux besoins de son scénario « net zero by 2050 » (source : <https://www.iea.org/topics/tracking-clean-energy-progress>)

³ Aldo : l'outil pour évaluer vos stocks et puits de carbone. <https://www.territoires-climat.ademe.fr/ressource/211-76>.

⁴ Le carbone stocké dans les produits bois n'est pas compté dans ces estimations, car nous adoptons la convention de comptabilité qui consiste à compter des émissions instantanées équivalentes aux prélèvements de bois. Elle permet d'éviter le double comptage des émissions et des séquestrations de la biomasse dans d'autres secteurs, notamment la construction avec le développement de la construction bois.

Empreinte carbone du scénario f(lux) : actions sur la forêt, l'agriculture et l'alimentation

Dans le scénario f(lux), la règle du zéro artificialisation brute diminuerait au contraire les émissions du secteur de 0,1 tCO₂e/pers./an.

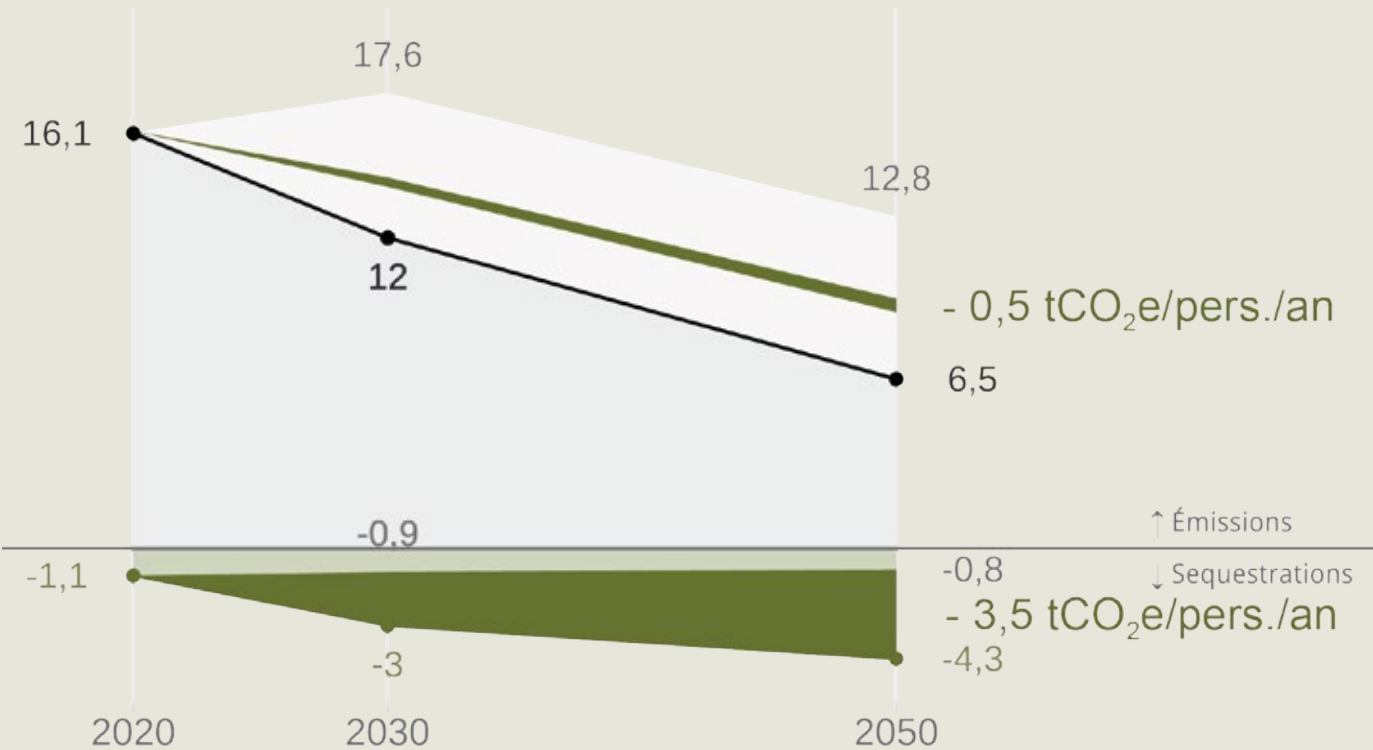
Toujours du côté des émissions, l'évolution des régimes alimentaires vers une consommation moindre de produits d'origine animale permettrait d'éviter 0,4 tCO₂e/pers./an d'émissions. Elle permettrait, de plus, d'engager une transition vers un modèle agricole basé sur la polyculture, résilient et soutenable.

Dans ce contexte, le déploiement progressif de l'agroforesterie et des haies bocagères sur 80 % des cultures en 30 ans générerait un flux de séquestration additionnel de 3,3 tCO₂e/pers./an, dont il faut souligner le caractère temporaire : les puits de carbone créés satureront 20 ans après l'introduction progressive de ces nouvelles pratiques, ce qui signifie que le flux de séquestration augmenterait jusqu'en 2050, avant de revenir à zéro en 2080. Les nouvelles surfaces de forêt généreraient, elles, un flux de séquestration additionnel d'environ 0,1 tCO₂e/pers./an.

Au final, les émissions liées à l'alimentation diminueraient de moitié dans le scénario f(lux), de 1,3 tCO₂e/pers./an à 0,6 tCO₂e/pers./an, soit 35 % de l'empreinte carbone cible de 1,8 tCO₂e/pers./an en 2050. Parallèlement, le flux de séquestration serait multiplié par 4 entre 2020 et 2050, passant de 1,1 tCO₂e/pers./an à 4,3 tCO₂e/pers./an, contre une baisse de près de 30 % dans le scénario tendanciel.

Empreinte carbone - scénario f(lux)

Actions sur la forêt, l'agriculture et l'alimentation, en tCO₂e/pers.an, sur le périmètre région fonctionnelle.



An isometric illustration of a city street scene. The scene shows a multi-lane road with a tram in the foreground, cars, and a bus. A wide pedestrian sidewalk is lined with trees and people walking. A dedicated bicycle lane is marked with a bicycle icon. The background features modern buildings. The entire illustration is rendered in a monochromatic orange and white color scheme.

2.3

Se déplacer sans énergies fossiles

Quelques chiffres sur la mobilité au Luxembourg

21 000 km

Distance moyenne parcourue par les habitants de la région fonctionnelle chaque année (estimation f(lux))

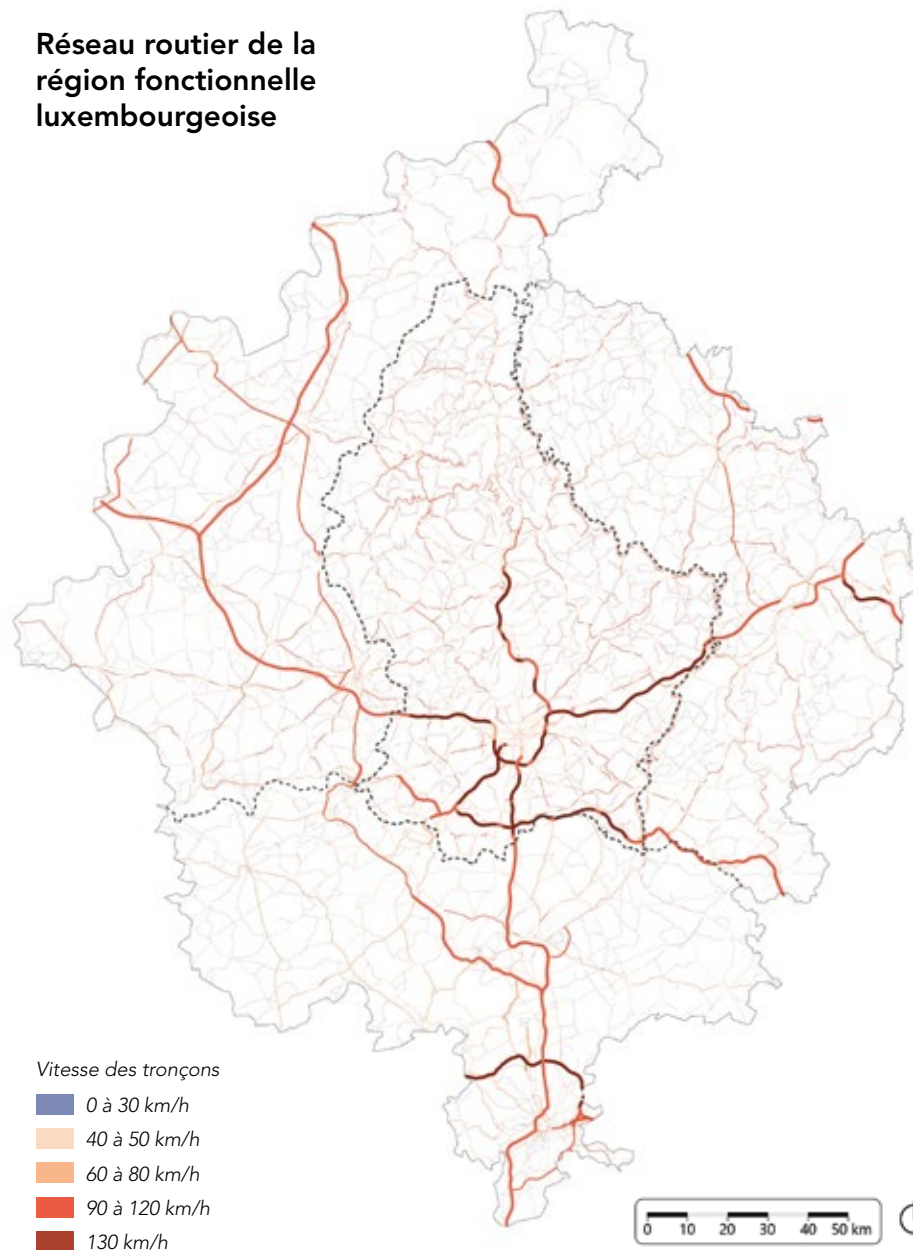
1,4

Nombre moyen de véhicules par ménage au Luxembourg

1 200

Nombre moyen de déplacements des habitants de la région fonctionnelle chaque année (estimation f(lux))

Réseau routier de la région fonctionnelle luxembourgeoise



250 000

Nombre de sièges automobiles vides entrant chaque matin dans l'agglomération du Luxembourg-Ville (Modu, 2018)

1h27

Temps de déplacement moyen des résidents luxembourgeois (Statec, 2016)

2 %

Part modale du vélo au Luxembourg en 2017 (Modu, 2018)

69 %

Part modale de la voiture au Luxembourg en 2017 (Modu, 2018)

Se déplacer sans énergies fossiles

RESPONSABLE DE PLUS DE 15 % DE L'EMPREINTE CARBONE DE LA RÉGION FONCTIONNELLE LUXEMBOURGEOISE, LA MOBILITÉ CONSTITUE UN VOLET ESSENTIEL DE LA TRANSITION.

Ce chapitre synthétise notre stratégie de réduction de l'empreinte carbone de la mobilité au travers de trois sous-parties.

1) Un volet diagnostique, synthétisant notre compréhension de l'empreinte carbone des mobilités des personnes sur la région fonctionnelle luxembourgeoise et identifiant les principaux leviers à actionner pour la réduire (p.66).

2) Un volet stratégique, axé autour de trois leviers :

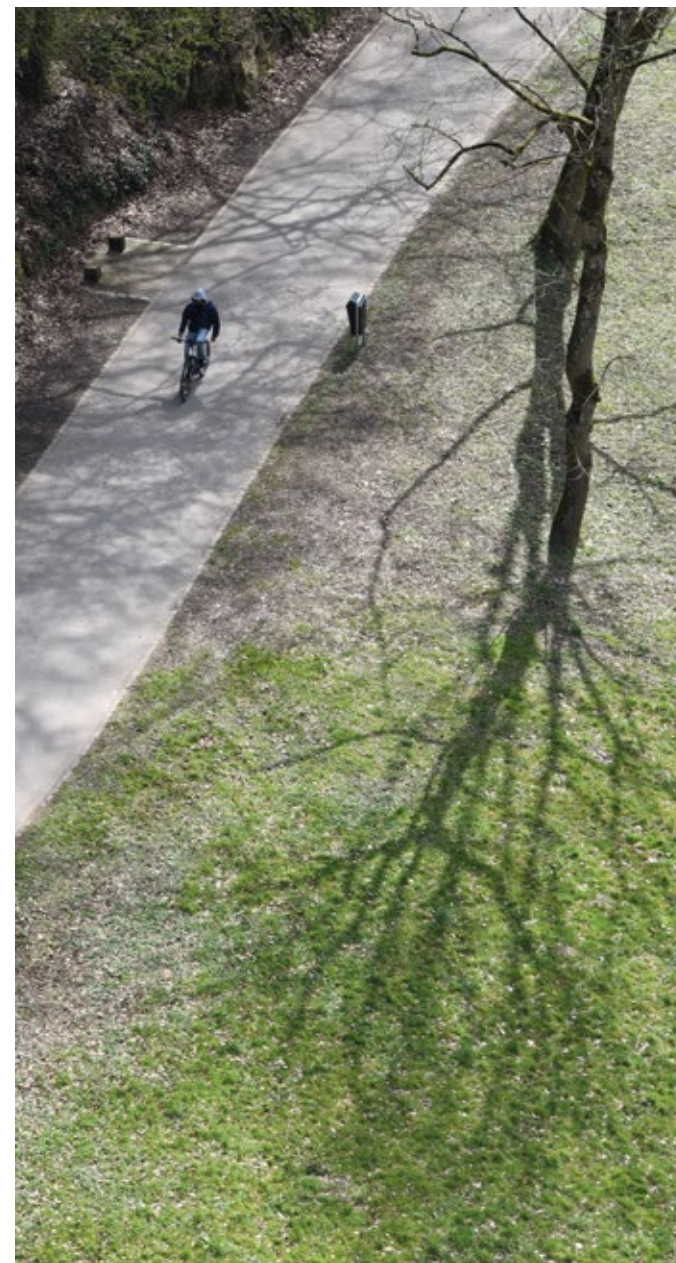
- **la transformation de la demande de mobilité**, préalable indispensable à toute stratégie de transition (p.68) ;
- **la transformation du réseau viaire**, matrice qui sous-tend et conditionne la majeure partie des déplacements au sein de la région fonctionnelle (p.70) ;
- **les mesures d'accompagnement réglementaires ou fiscales** à étudier pour accélérer la transition (p.88).

3) Un volet tactique, décrivant la scénarisation de notre stratégie de 2022 à 2050, en s'appuyant notamment sur son appropriation culturelle (p.91).

CADRAGE DU VOLET MOBILITÉS

Cette étude comporte plusieurs éléments de cadrage.

- **Nous nous sommes focalisés sur la mobilité quotidienne des personnes de la région fonctionnelle**, laissant de côté à la fois la question de la mobilité des biens et celle de la mobilité de très longue distance (déplacements aériens, par exemple).
- **Compte tenu des nombreux projets déjà en cours sur le territoire pour améliorer sa desserte par transports en commun**, nous avons focalisé nos recherches sur la transformation du réseau viaire, complémentaire de l'évolution du réseau ferroviaire, notamment.
- **Face à l'urgence climatique, nous avons privilégié comme indicateur premier l'empreinte carbone des mobilités**. Cependant, notre stratégie étant avant tout centrée sur la sobriété, elle tend à améliorer la situation pour d'autres enjeux comme la biodiversité ou l'artificialisation des sols.
- **Enfin, si nous sommes convaincus que l'aménagement du territoire doit être placé au cœur des stratégies de transition, celui-ci ne saurait répondre à lui seul à l'ensemble des enjeux, ni déterminer à lui seul la trajectoire d'émissions des mobilités luxembourgeoises**. La mobilité aérienne de longue distance constitue par exemple un point aveugle de cette approche, car l'aménagement du territoire n'a que peu de prise sur ce type de mobilité, pourtant hautement émissif. Elle renvoie donc à l'exploration d'autres leviers, tels que les quotas carbone, pour parvenir à réduire les émissions de ce secteur.



État des lieux de l’empreinte carbone des mobilités luxembourgeoises

ÉTAT DES LIEUX

La mobilité pèse actuellement 2,4 tCO₂e/pers./an dans l’empreinte carbone de la région fonctionnelle, ce qui suffit à dépasser pour un seul poste l’objectif 1,8 tCO₂e/pers./an, à atteindre en 2050 dans le cadre d’une trajectoire +2°C. Une diminution importante des émissions de la mobilité suppose donc d’agir sur tous les leviers à notre disposition : partir des besoins de déplacements, et comprendre comment l’équilibre des activités urbaines peut les influencer, utiliser et optimiser l’usage des technologies et des infrastructures et notamment celles qui sont déjà là, et enfin transformer le système d’approvisionnement énergétique des différents modes de transport.

Derrière ce chiffre moyen se cachent des pratiques de mobilité très différentes, entre enfants, actifs, retraités, luxembourgeois et frontaliers, habitants des villes ou des campagnes...

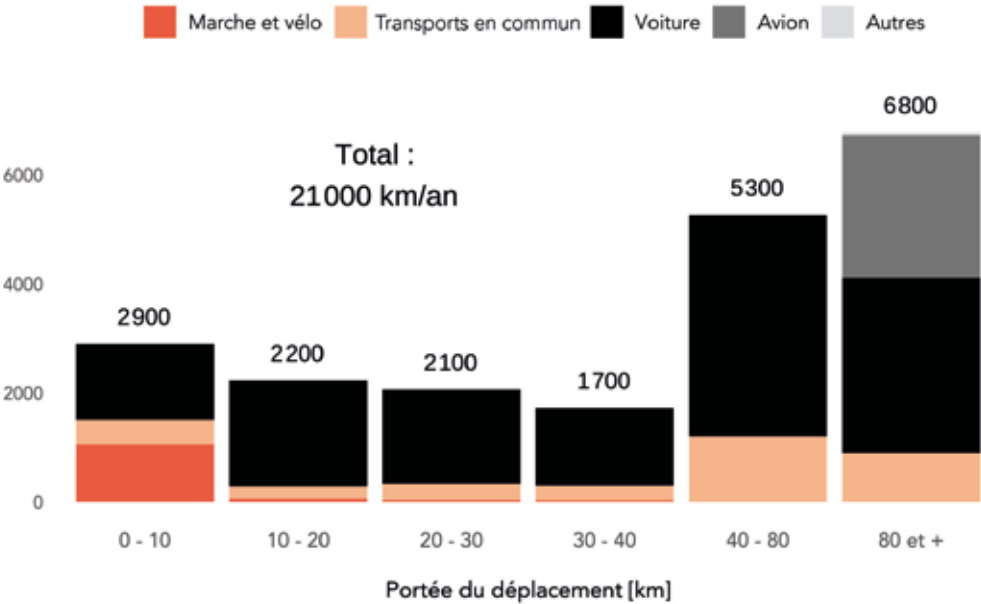
Ces différences sont prises en compte par notre approche, et l’état des lieux que nous dressons et les leviers d’action que nous proposons ne s’appliquent pas à un habitant moyen, mais bien à des catégories de population et des usages bien définis : le télétravail ne concerne que les actifs dont le métier s’y prête, la réduction des vitesses par type d’infrastructure routière ne touche que leurs usagers potentiels, l’usage du vélo dépend de la qualité des infrastructures comme de la proximité des destinations potentielles. Les calculs, complexes,

ont été réalisés sur les parties luxembourgeoise et française de la région fonctionnelle. Ils couvrent 70 % de sa population, les autres populations faisant l’objet d’une extrapolation.

Selon nos estimations, les habitants de la région fonctionnelle parcourraient actuellement environ 21 000 km/an en moyenne, soit l’équivalent de la moitié de la circonférence de la Terre chaque année, en faisant 1 200 déplacements par an. Les petits déplacements, de moins de 20 km, représentent dans ce total 80 % des déplacements mais seulement 25 % des distances parcourues et 20 % de l’empreinte carbone de la mobilité, alors que les grands déplacements, de plus de 80 km, ne représentent que 2 % des déplacements mais plus de 30 % des distances parcourues et près de 45 % des émissions.

Les deux tiers de ces distances se font en voiture, le mode de déplacement principal quel que soit le motif de déplacement, et quasiment quelle que soit la distance à parcourir (à l’exception des déplacements de moins de 10 km, pour lesquels elle représente tout de même toujours 45 % des distances parcourues). **Les transports en commun sont présents sur toutes les catégories de distance,** avec des modes adaptés à différents contextes et types de trajet : tramways, bus, trains régionaux et à grande vitesse... Ils représentent 15 % des distances

Distances moyennes parcourues par personne - 2020
Sur un an, selon la portée du déplacement et le mode de transport utilisé, sur les périmètres luxembourgeois et français de la région fonctionnelle.



État des lieux de l’empreinte carbone des mobilités luxembourgeoises

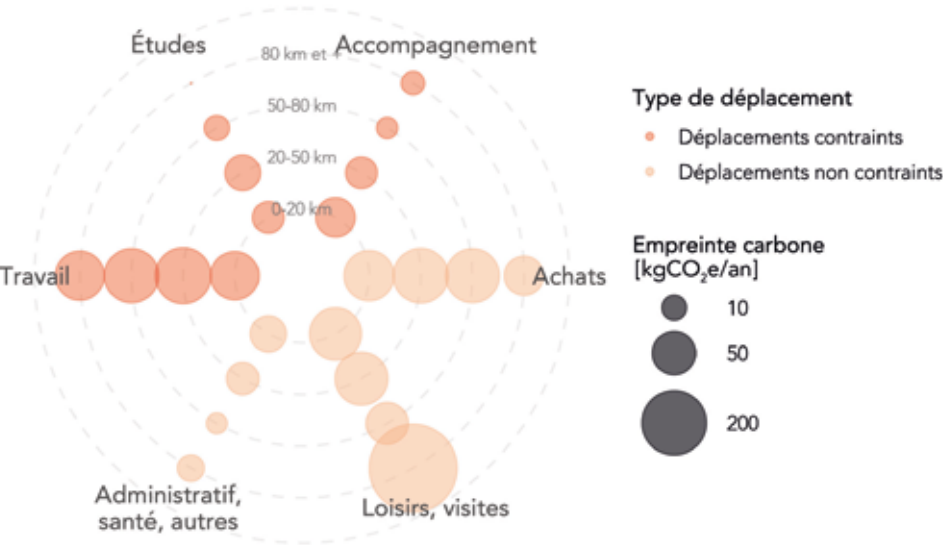
parcourues, soit environ 3 500 km/an. **La marche et le vélo ne concernent quasiment que les déplacements de moins de 10 kms, pour un total de 1 200 km/an, soit 5 % du total.**

Les habitants se déplacent en moyenne surtout pour les loisirs et les visites, regroupement de motifs qui représente 30 % des déplacements, 40 % des distances parcourues et 50 % des émissions. Les déplacements liés au travail et aux achats viennent ensuite, constituant chacun environ 20 % des déplacements, 25 % des distances parcourues et 20 % des émissions.

Au total, l’empreinte carbone liée à la consommation et la fabrication des véhicules de transport pour parcourir ces distances est estimée à 1,8 tCO₂e/pers./an, pour les parties luxembourgeoise et française de la région fonctionnelle. Il faudrait ajouter à ce chiffre la construction des infrastructures de transport, qui est actuellement comptée dans le poste de « formation de capital fixe » de l’empreinte carbone des habitants, sans pouvoir à ce stade dissocier ce type particulier d’actif.

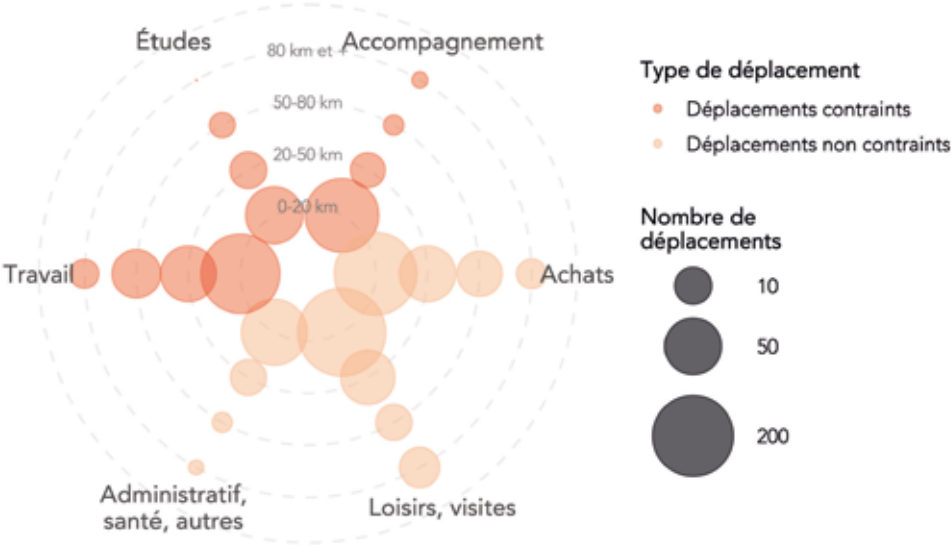
Empreinte carbone des déplacements par motif - 2020

Sur un an, selon la portée du déplacement, sur les périmètres luxembourgeois et français de la région fonctionnelle.



Nombre moyen de déplacements par motif - 2020

Sur un an, selon la portée du déplacement, sur les périmètres luxembourgeois et français de la région fonctionnelle.



Transformer la demande de mobilité

TRANSFORMER LA DEMANDE DE MOBILITÉ

La stratégie de transition des mobilités que nous préconisons articule un volet offre et un volet demande. En effet, il n'est pas envisageable de défendre une politique de promotion du vélo si les distances à parcourir restent aussi importantes. Inversement, il n'est pas suffisant d'encourager la pratique du vélo grâce à des équipements de proximité si ceux-ci ne sont pas reliés entre eux par des infrastructures cyclables. C'est donc une évolution en tandem qui doit émerger entre politique de l'offre et politique de la demande.

Le volet « demande » se construit autour des notions de proximité, mais aussi de sobriété et de mutualisation :

- la **proximité** est essentielle pour élargir les options de mobilité à des modes doux et actifs ;
- la **sobriété** permet d'optimiser le nombre de déplacements et les chargements nécessaires (du fait de la bonne adaptation du gabarit de l'équipement de mobilité et des besoins afférents) ;
- la **mutualisation** permet de réduire le nombre d'équipements par habitant, du fait du faible taux d'utilisation des équipements de mobilité (une voiture est par exemple immobilisée 95 % du temps en moyenne).

Ces trois notions sont interdépendantes et reliées.

La proximité se façonne au gré de décisions d'aménagement du territoire : politique d'implantation commerciale, soutien au petit commerce (via des mécanismes de sociétés d'économie mixte ou des foncières solidaires), diversification des enseignes, politique foncière (ajustement des taxes foncières, des règles d'urbanisme et des permis de construire en fonction des objectifs de la politique de mobilité), action sur la qualité des services et d'infrastructures associées aux équipements fixes (présence de bornes de recharge électrique, de bornes « vélo » – point gonflage, zone de réparation, stockage sécurisé...), services de location (remorques, triporteurs ou vélos cargos...). La formation et la présence d'équipes de maintenance ou de service (logistique urbaine, ramassage scolaire en pédibus ou vélobus...) complètent également la politique d'équipements et d'infrastructures de proximité.

En complément, la politique de sobriété se construit sur un registre principalement centré sur les usages, supposant de démarrer par des démonstrateurs/utilisateurs pilotes, qui vont illustrer le principe de sobriété dans leurs pratiques de mobilité. Cette mise en scène et mise en récit doit aussi s'appuyer sur des prescripteurs (commerçants de proximité, acteurs publics, milieu scolaire et périscolaire, clubs sportifs, conservatoires de musique, associations de quartier).



Schéma de concept de la « ville du quart d'heure ». Source : Métropole de Lyon.

Amener les équipements publics au plus près des usages pour réduire les distances de déplacement.
Source : médiathèque de Saint-Nazaire.



Transformer la demande de mobilité

La sobriété se construit aussi au gré des réductions des vitesses en ville, clé indispensable pour réduire le gabarit et la puissance des équipements de mobilité. La réduction de la vitesse est en effet un levier important pour basculer vers d'autres modes de transport, plus agiles, plus faciles à garer, plus faciles à déplacer en milieu dense et pouvant accéder aux lieux (d'origine ou de destination) en pied d'immeuble, sans rupture de charge.

Enfin, la mutualisation bénéficie des mesures de proximité et de sobriété, et les complète en réduisant le coût d'équipement par personne. C'est évidemment le registre du covoiturage, mais pas seulement : auto-partage ou location de moyenne ou longue durée se substituent à la possession d'un véhicule, ne serait-ce que pour une partie des déplacements. Rappelons qu'en France, 50 % des déplacements font moins de 3 km : nous avons un immense levier de réduction du nombre et du gabarit des équipements en circulation. Avec moins de véhicules automobiles, il devient alors possible (et pertinent) de réduire le nombre de places de parking dédiées aux voitures, de reconvertir une partie de la voirie automobile (parkings, ronds-points, quatre-voies, etc.), pour réaffecter une part de cet espace public à d'autres usages. En retour, la promotion d'autres usages en sort renforcée.

Ces facteurs de transformation de la demande de mobilité (il ne s'agit pas de réduire la demande mais bien de la transformer, tant en distance qu'en

nombre, qu'en modes d'usage) font système et il est indispensable de programmer leur déploiement de manière coordonnée. La dimension culturelle est absolument critique, notamment dans les premières phases du programme, pour assurer une adhésion et une implication les plus larges possibles de la population, et pour aider à installer la possibilité que l'espace public et que les infrastructures actuelles puissent évoluer vers une réduction de la place consacrée à la voiture (notamment voiture individuelle).



Micro-véhicules électriques en auto-partage, Grenoble.
Source : Cité Lib.

Transformer l'affordance du réseau routier luxembourgeois

LE RÉSEAU VIAIRE : UN BIEN COMMUN À MOBILISER AU SERVICE DE LA TRANSITION

Le réseau viaire de la région fonctionnelle luxembourgeoise présente un intérêt stratégique majeur : presque intégralement propriété de la puissance publique, il constitue un véritable bien commun.

De l'autoroute au chemin, en passant par le boulevard ou la voie résidentielle, il structure le territoire et conditionne les manières de le parcourir.

Par sa matérialité (revêtement, éclairage, profil...), sa géométrie (gabarit, rayons de giration, types d'intersection...), ses règles d'usage (vitesse maximale, sens de circulation, types de véhicule autorisés...), **il contribue à façonner la majeure partie des déplacements luxembourgeois en faisant la part entre le possible et l'impossible, le permis et l'interdit.**

La densité du réseau viaire, sa capacité ou encore son partage modal (part de l'espace dévolue à chaque mode de transport - piétons, vélos, automobile, transports en commun...) se révèlent par exemple déterminants dans les choix modaux des individus, mais aussi dans la distance qu'ils pourront parcourir au cours d'une heure ou d'une journée, et *in fine* dans l'empreinte carbone de leurs déplacements.

En outre, **le réseau viaire ne conditionne pas seulement nos mobilités** : il a une incidence sur la santé humaine (pollution de l'air, pollution sonore et lumineuse...), la biodiversité (fragmentation des milieux,

pollution de l'air et de l'eau, pollution sonore et lumineuse...), le climat (de façon globale par ses émissions de GES induites, mais aussi à l'échelle locale par effet d'îlot de chaleur urbain), les risques naturels (degré d'imperméabilisation des sols et risques associés...) ou encore la sociabilité d'une ville (effets de coupure urbaine, usages de l'espace public...).

INVENTER LES VOIES DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

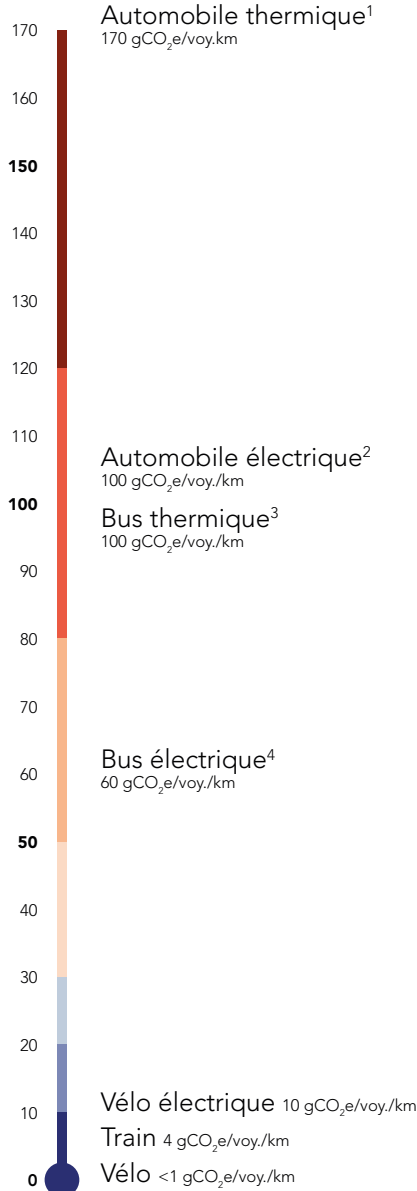
Comme l'a montré l'historien de l'architecture Éric Alonzo, **la conception du réseau viaire a d'ailleurs fortement varié au cours des siècles**, depuis les voies romaines antiques jusqu'aux autoroutes modernes, traduisant à chaque époque des perceptions, des objectifs et des valeurs distincts.

Il nous revient aujourd'hui de repenser ce réseau viaire au prisme des défis contemporains, à commencer par celui du changement climatique. Non pas en superposant un réseau au réseau existant, mais bien en transformant et en adaptant ce dernier. Quelles stratégies adopter, par exemple, pour sortir de l'hégémonie de la voiture individuelle thermique et favoriser par la conception même du réseau les modes les moins carbonés (transports en commun, mobilités actives...) ? Comment transformer le réseau existant pour privilégier la proximité plutôt que la vitesse ? Comment réduire l'impact du réseau viaire sur la biodiversité,

l'imperméabilisation des sols ou encore l'effet d'îlot de chaleur urbain ? Comment adapter le réseau existant dans des délais resserrés pour répondre à ces différents objectifs ?

Pour tenter de répondre à ces questions, nous proposons tout d'abord six principes pour guider la transformation du réseau viaire au service de la décarbonation des mobilités. Tant par les règles d'usage (vitesse maximale, sens de circulation...) que par la répartition de l'espace dédié aux différents modes, ou encore le type de stationnement intégré, ces six principes ont été pensés pour favoriser les mobilités les moins carbonées tout en réduisant la dépendance à l'automobile.

Puis nous présentons cinq études de typologies de voirie représentatives de la région fonctionnelle luxembourgeoise, explorant leur évolution possible au travers d'une phase de préfiguration tactique à court terme (2022) et d'une pérennisation des transformations (horizon 2030). Ces six fiches pratiques permettent d'imaginer comment mobiliser le patrimoine viaire de la région fonctionnelle luxembourgeoise pour accélérer la transition vers des mobilités décarbonées, mais aussi réduire l'imperméabilisation des sols, atténuer les îlots de chaleur urbains ou encore améliorer la santé des habitants en favorisant les mobilités actives.



Estimations f(lux)
1 Pour une occupation d'1,2 voyageur/véhicule.
2 Pour une occupation d'1,2 voy./véh. au mix électrique luxembourgeois actuel.
3 Pour une occupation de 10 voy./véh.
4 Pour une occupation de 10 voy./véh. au mix électrique luxembourgeois actuel.

6

leviers pour transformer
l'affordance du réseau
routier au
profit des mobilités
décarbonées



01. Réduire les vitesses



02. Rééquilibrer le partage de l'espace public au profit des mobilités décarbonées



03. Redonner la priorité aux modes actifs à toutes les intersections



04. Repenser les schémas de circulation au profit de la proximité



05. Transformer l'offre de stationnement au profit des mobilités décarbonées

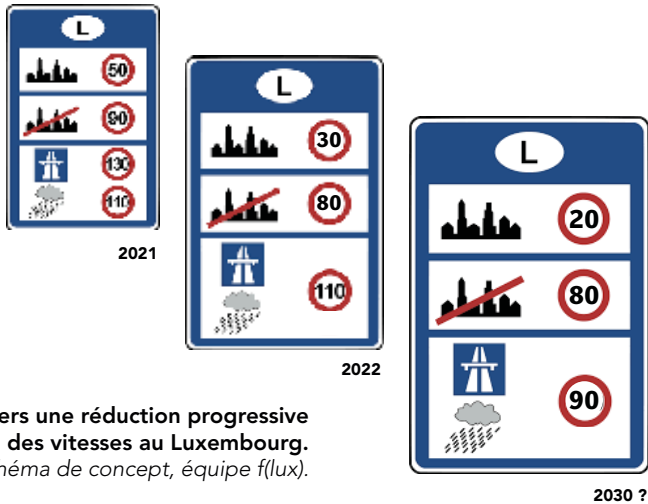


06. S'appuyer sur les aménagements tactiques pour accélérer la transition

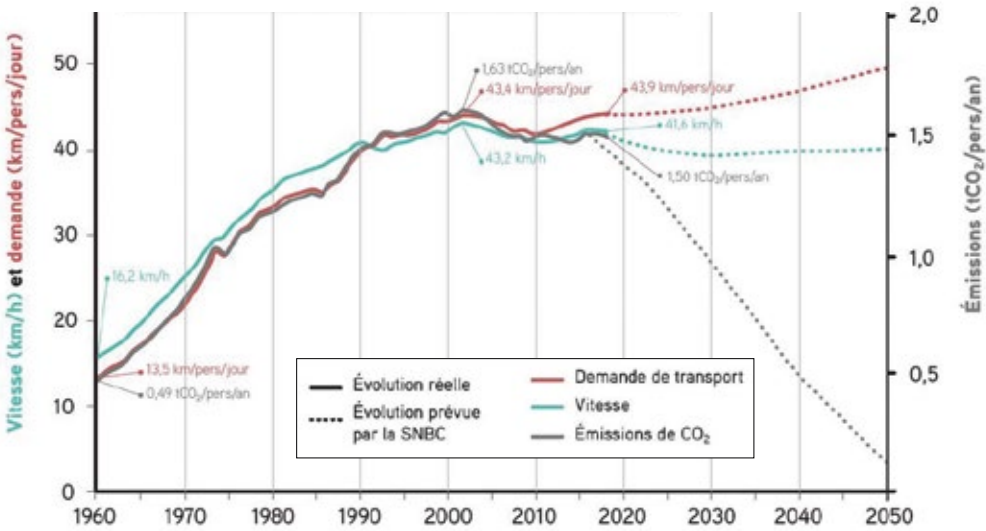
LEVIER 1 : RÉDUIRE LES VITESSES

La réduction des vitesses constitue le premier pilier de notre stratégie. En effet, **la forte corrélation entre vitesse moyenne des déplacements, demande de transport et émissions de CO₂ a été établie¹, et constitue sans doute la plus structurante du niveau d'émissions liées à la mobilité.** Les déplacements de la vie quotidienne se faisant à budget-temps relativement stable², la hausse des vitesses moyennes tend à augmenter la portée moyenne des déplacements, et donc le niveau global d'émissions si le mode utilisé ne change pas - concourant au passage à accentuer les dynamiques d'étalement urbain et d'artificialisation des sols.

L'enjeu de la réduction des vitesses est ainsi de tenter de renverser cette logique pour favoriser progressivement un retour à des mobilités de proximité. Outre une réduction des émissions directes liée à la baisse de vitesse 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 et plus sécurisées pour leur pratique.



Vers une réduction progressive des vitesses au Luxembourg. Schéma de concept, équipe f(lux).



Rapport entre vitesse et émissions / Source : extrait de la thèse d'Aurélien Bigo¹



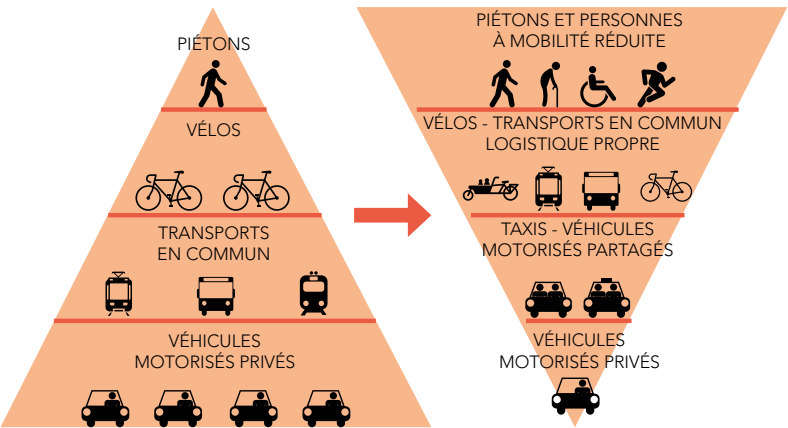
Source : www.deltafm.fr

¹ Bigo Aurélien, 2020. Les transports face au défi de la transition énergétique. Explorations entre passé et avenir, technologie et sobriété, accélération et ralentissement, Institut Polytechnique de Paris, 2020.
² Iragaël Joly, Yves Crozet, Patrick Bonnel, Charles Raux, 2002. La « Loi » de Zahavi, quelle pertinence pour comprendre la contraction ou la dilatation des espaces-temps de la ville ?

LEVIER 2 : RÉÉQUILIBRER LE PARTAGE DES ESPACES PUBLICS AU PROFIT DES MOBILITÉS DÉCARBONÉES

Le rééquilibrage du partage de l'espace public au profit des mobilités décarbonées constitue logiquement un point central de notre stratégie. **Aujourd'hui largement dominé par l'automobile, le réseau viaire favorise l'usage du mode le plus consommateur d'énergie et d'espace, et émetteur de gaz à effet de serre et de particules fines** – notons au passage que si les voitures électriques tendent à améliorer la situation sur ces deux derniers points, elles restent tout aussi consommatrices d'espace, d'énergie et de ressources naturelles (voire davantage pour certains critères).

Reprendre de l'espace à la voiture pour le redonner aux modes les moins carbonés (marche, vélo, transports en commun, micro-mobilité électrique...) constitue un impératif pour non seulement rendre possible mais favoriser la transition vers des mobilités bas carbone. Outre une amélioration de l'affordance du territoire au profit de ces dernières, cette stratégie facilite la réaffectation de voiries à d'autres types d'usage au service de la transition (sport de proximité, commerces, désimperméabilisation des sols...), dans la mesure où les mobilités les moins carbonées sont en général plus efficaces que les mobilités carbonées en termes de consommation d'espace par usager.



Renverser la pyramide de répartition de l'espace en fonction des modes de transport.

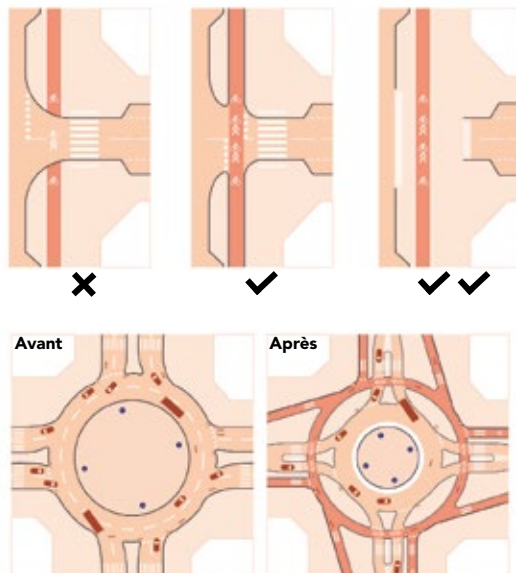


Source : Copenhagenize Design Co.

LEVIER 3 : REDONNER LA PRIORITÉ AUX MODES ACTIFS À TOUTES LES INTERSECTIONS

Cette stratégie suppose, sur l'ensemble du territoire, de redonner physiquement la priorité aux modes décarbonés, dont la malédiction des « trois D » – Détours, Déni-velés et Délais, comme théorisé par Frédéric Héran¹ – freine encore le développement. Un investissement important est ici nécessaire, afin de créer les infrastructures cyclables et piétonnes indispensables à la transition, et de redonner la priorité aux modes actifs à toutes les intersections.

Aux petites intersections urbaines, cela peut se traduire par des innovations telles que le trottoir traversant - voir schéma ci-dessous - couramment utilisé aux Pays-Bas par exemple. Les grandes intersections telles que les ronds-points doivent quant à elles être reprises pour donner la priorité aux vélos et aux piétons sur des parcours entièrement sécurisés. Les régimes de feux de circulation doivent également être réadaptés, par exemple pour être accordés sur le rythme des vélos plutôt que sur celui des automobiles.



Recommandations d'urbanisme cyclable pour les intersections.

Source : schémas adaptés du Cerema.



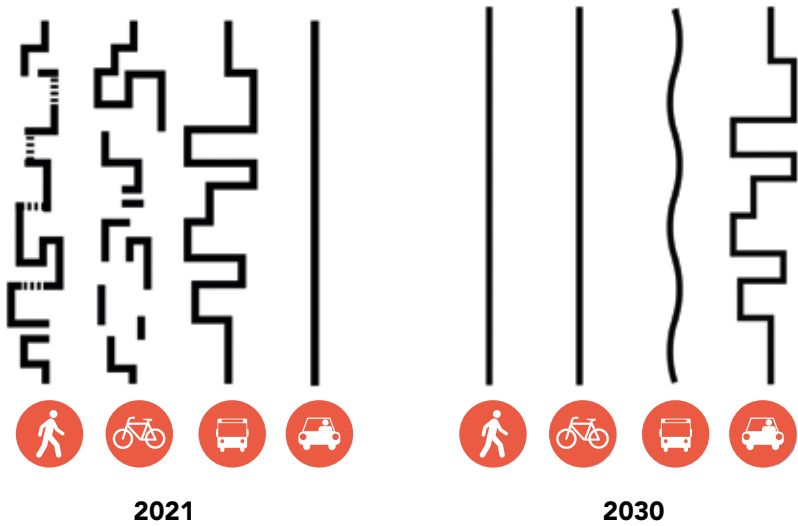
Source : Google Earth.

¹ Héran, Frédéric, 2011. *La ville morcelée. Effets de coupure en milieu urbain*. Paris, Économica, 2011.

LEVIER 4 : REPENSER LES SCHÉMAS DE CIRCULATION AU PROFIT DE LA PROXIMITÉ

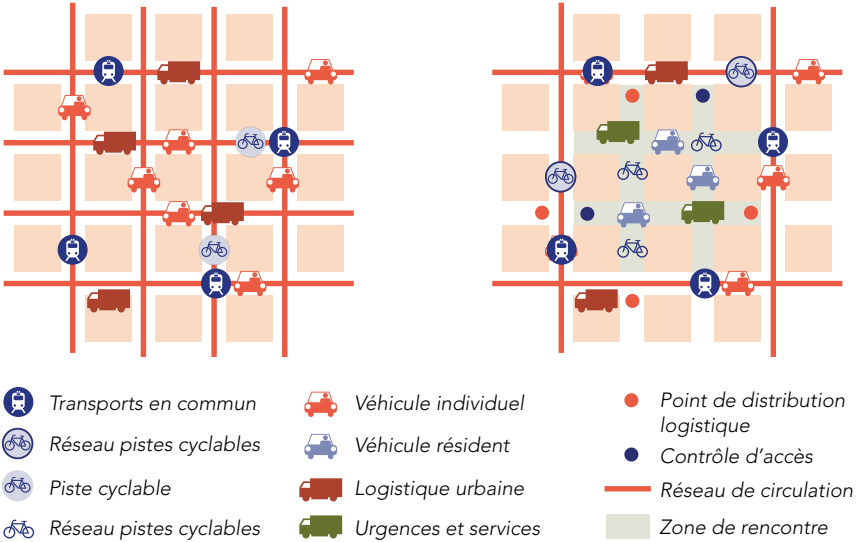
Les schémas de circulation constituent un levier de transition très puissant et souvent sous-estimé, permettant de transformer radicalement le trafic et les usages d'un quartier en un laps de temps très court, et à l'aide de moyens très modestes. Des villes comme Barcelone ou Milan se sont récemment inspirées de cette stratégie pour totalement repenser leurs espaces publics, en s'appuyant sur l'agilité et la vitesse offertes par l'urbanisme tactique, avec des résultats spectaculaires.

Avec son concept de « Supermanzanas », Barcelone a par exemple créé des « superblocs » dans lesquels le trafic est limité à des usages purement résidentiels, limités à 10 km/h et empêchant tout trafic de transit (circulation en boucles de tourne-à-gauche ou tourne-à-droite uniquement). De très larges portions de voirie ont ainsi pu être réaffectées à des usages récréatifs ou de proximité. Cette stratégie a déjà permis de réduire fortement la pollution de l'air, les nuisances sonores et les effets d'îlots de chaleur urbains sur les secteurs transformés, tout en favorisant le report modal vers des mobilités décarbonées.



Source : Copenhagenize Design Co.

Supermanzanas, Barcelone

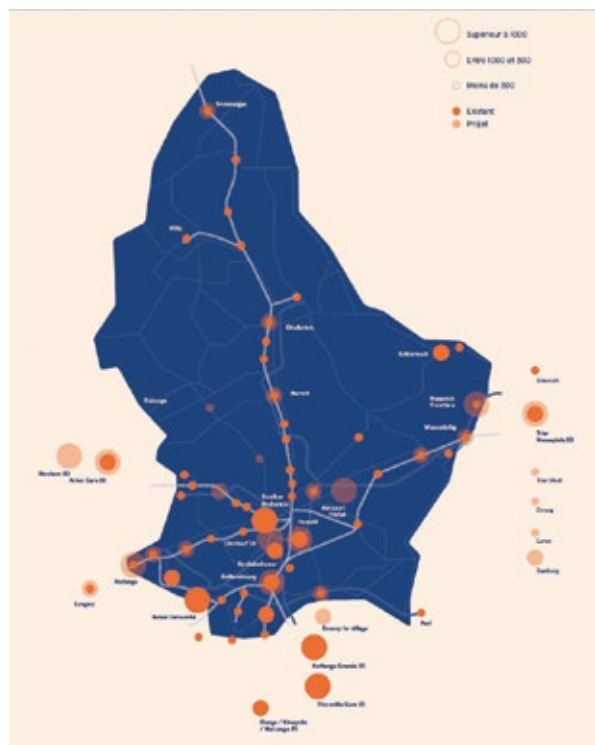


Source : www.ciudadaverdes.com

LEVIER 5 : TRANSFORMER L'OFFRE DE STATIONNEMENT AU PROFIT DES MOBILITÉS DÉCARBONÉES

La politique de stationnement constitue un levier déterminant pour favoriser le report modal vers des modes décarbonés : en contraignant le stationnement automobile (par le prix, la distance ou la disponibilité) et en démultipliant les offres de stationnement vélo, on accélère la bascule vers des mobilités décarbonées.

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 d'utiliser l'automobile tout en revitalisant l'activité locale et les déplacements de courte distance – les *parklets* en sont un bon exemple. Dans les zones commerciales, la mutualisation des espaces de stationnement, souvent surdimensionnés, peut être un premier pas. Enfin, **dans les zones périurbaines, la mutualisation et la mise à distance du stationnement à quelques dizaines de mètres du domicile peuvent aider à réduire le « réflexe voiture »** pour les trajets courts, tout en libérant les rues au profit des mobilités actives ou d'usages de proximité.



P&R existants et projetés (MDDI, 2008).

Source : www.transports.public.lu.



Source : Rasmus Hjortshøj - COAST Studio.

LEVIER 6 : S'APPUYER SUR LES AMÉNAGEMENTS TACTIQUES POUR ACCÉLÉRER LA TRANSITION

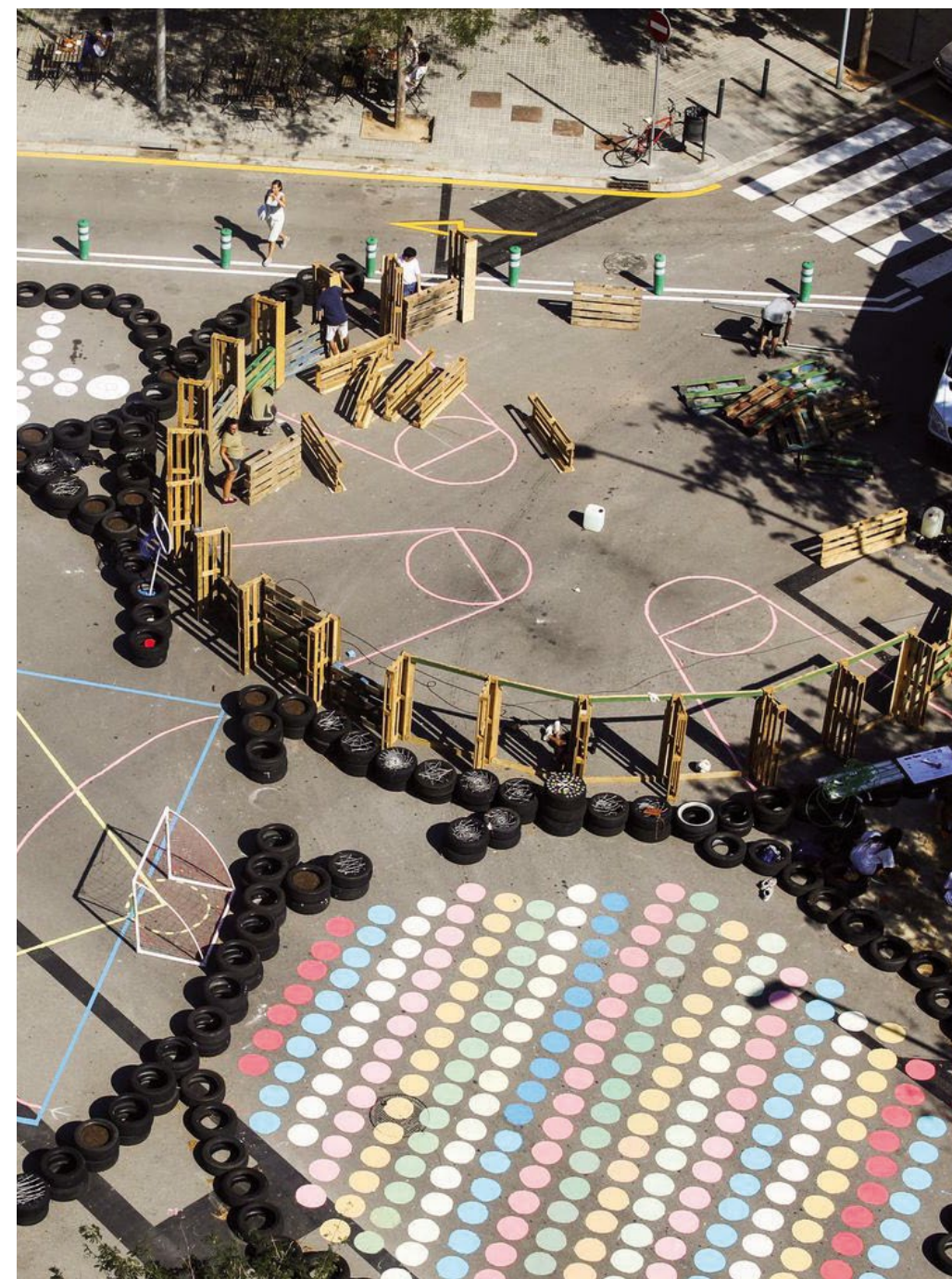
Enfin, les dispositifs d'urbanisme tactique sont un puissant catalyseur permettant d'accélérer la mise en œuvre des cinq leviers précédents.

Ces dispositifs présentent un triple avantage.

- En s'appuyant sur des dispositifs en général peu coûteux, **ils sont faciles à mettre œuvre et permettent d'aboutir à des premiers résultats très rapidement.**
- De caractère temporaire et réversible, **ils peuvent être mis à profit pour des aménagements provisoires ou saisonniers.**
- **Enfin, et c'est peut-être leur plus grand atout, leur caractère éphémère permet d'accélérer le changement en dépassant les blocages :** tester des aménagements « en vrai » permet de lever les inquiétudes et de valider leur pertinence avant une éventuelle pérennisation, en objectivant les débats par l'expérimentation. Ils facilitent ainsi l'adoption de propositions plus ambitieuses que des aménagements réalisés directement « en dur », car l'incertitude sur l'adéquation au besoin conduit en général à prendre plus de marges de sécurité et à opter pour des changements plus modestes.
- **L'urgence climatique nous oblige aujourd'hui à être à la fois radicaux, rapides et efficaces :** l'urbanisme tactique constitue l'outil idéal pour répondre à cette urgence tout en vérifiant sur un délai très court la pertinence des choix opérés.



S'appuyer sur l'urbanisme tactique pour accélérer la transition.
Rue de Rivoli, Paris 2020.

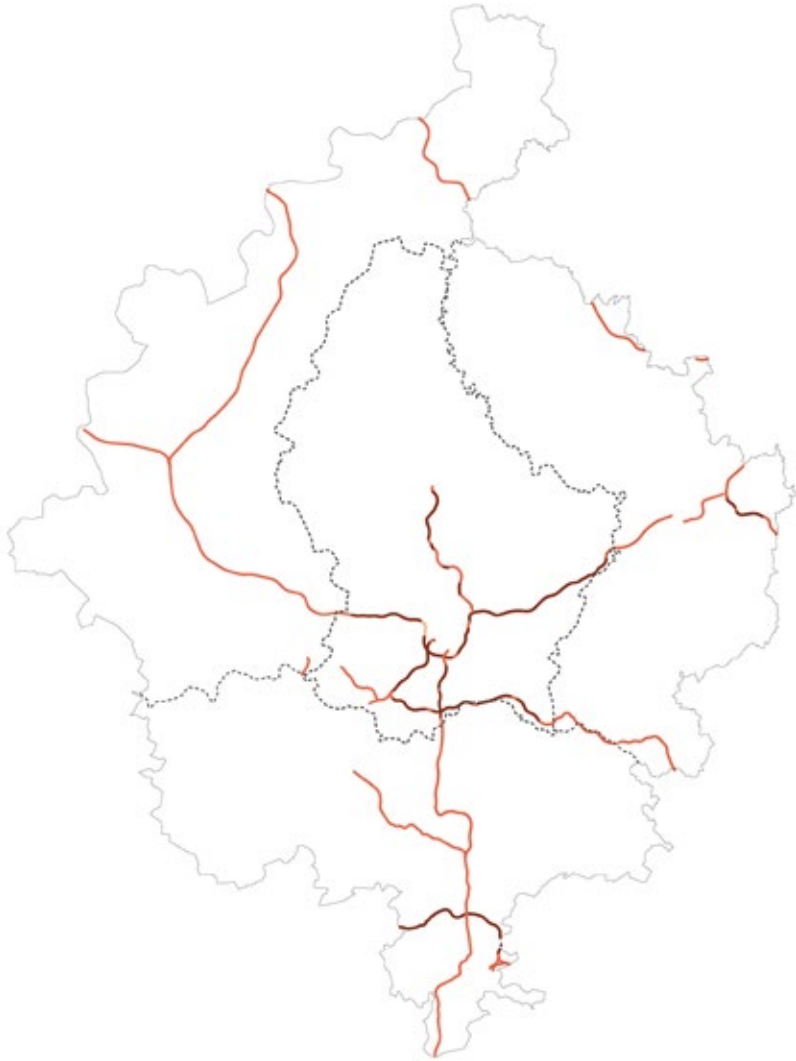


Poble Nou, Barcelone / Source : BCNUEJ.

Autoroutes

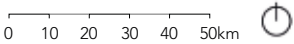


Leudelange, octobre 2021.



Vitesse des tronçons

- 90 à 120 km/h
- 130 km/h



Autoroutes

2021

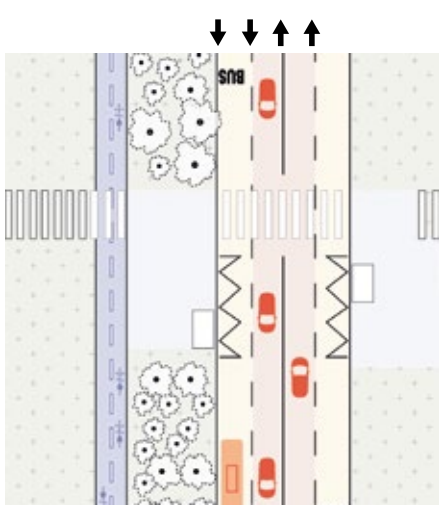
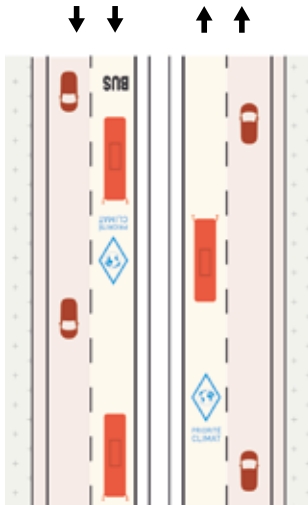
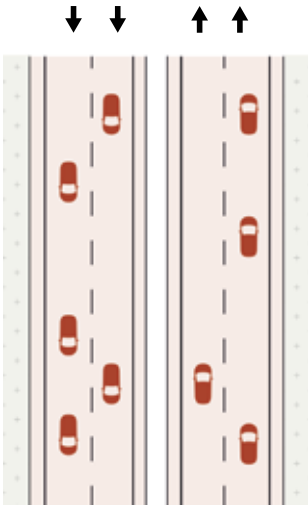
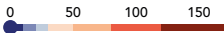
2022

2030

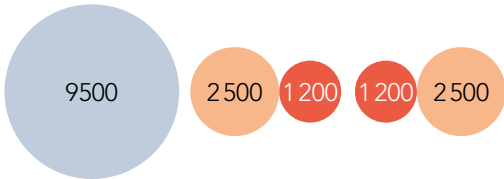
Vitesse maximale
(km/h)



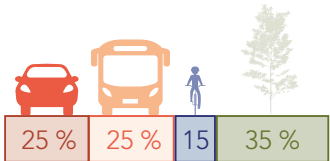
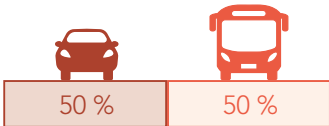
Intensité carbone
du déplacement
(gCO₂e/voy./km)



Capacité horaire
maximum
(voy./h par voie)



Partage modal de l'espace
(% m²)



Réseau structurant
rural



Cessange, octobre 2021.



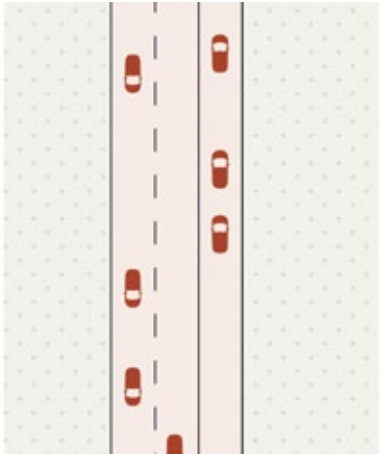
Réseau structurant
rural

Vitesse maximale
(km/h)

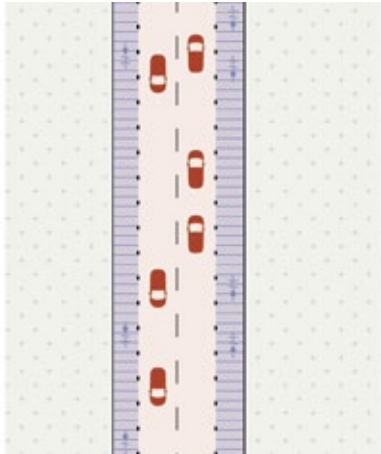
Intensité carbone
du déplacement
(gCO₂e/voy./km)



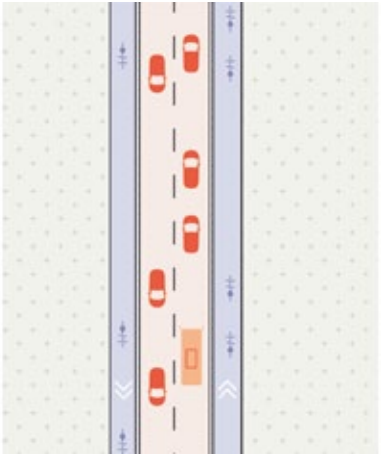
2021



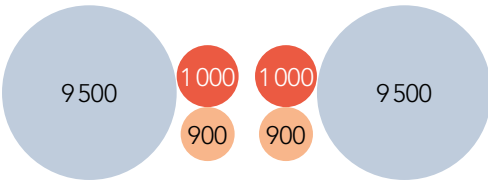
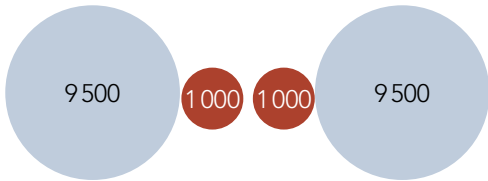
2022



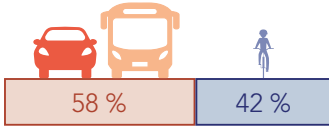
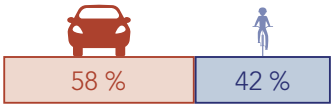
2030



Capacité horaire
maximum
(voy./h par voie)



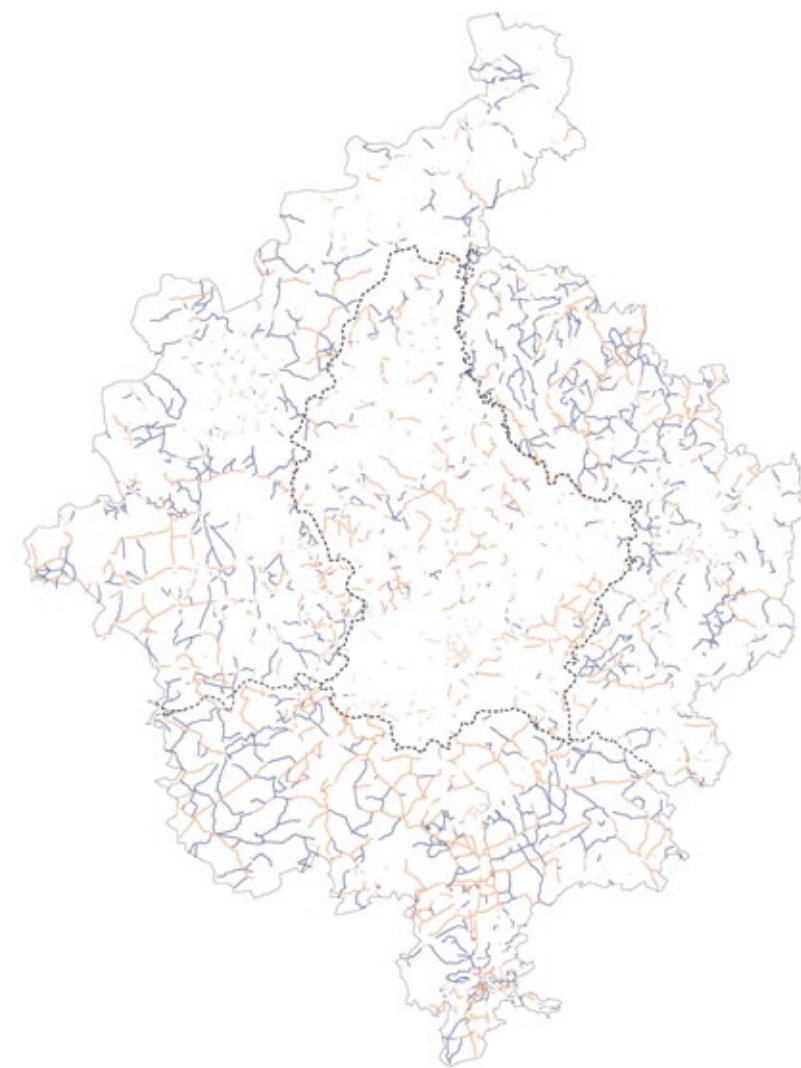
Partage modal de l'espace
(% m²)



Réseau secondaire rural



Cessange, octobre 2021.

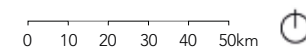


Vitesse des tronçons

0 à 30 km/h

40 à 50 km/h

60 à 80 km/h



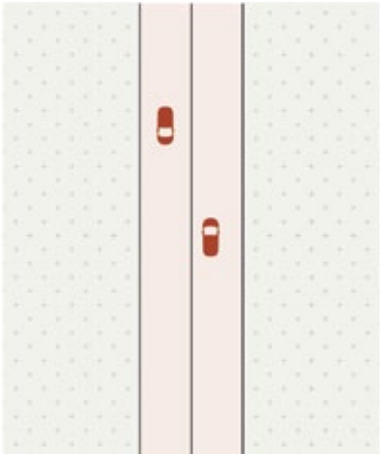
Réseau secondaire rural

Vitesse maximale (km/h)

Intensité carbone du déplacement (gCO₂e/voy./km)



2021



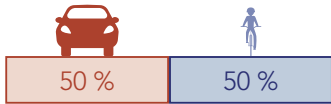
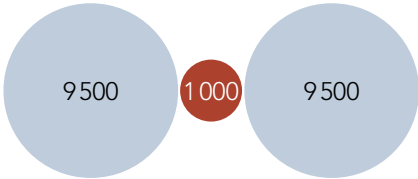
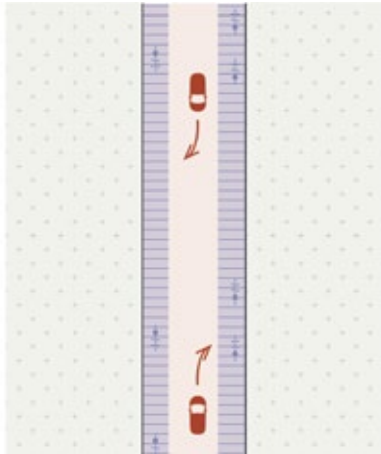
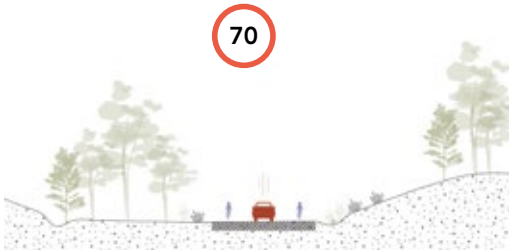
Capacité horaire maximum (voy./h par voie)



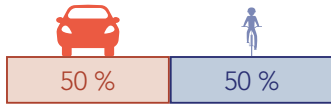
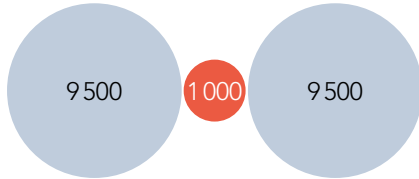
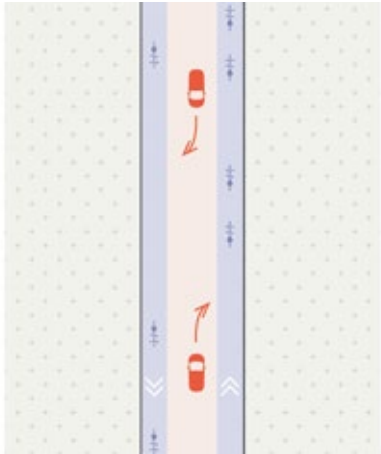
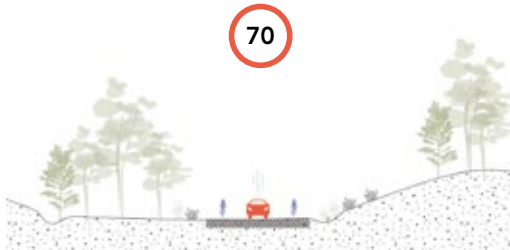
Partage modal de l'espace (% m²)



2022



2030



Réseau structurant urbain



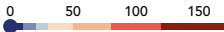
Kockelscheuer, octobre 2021.



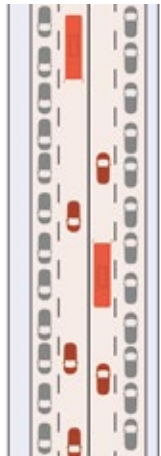
Réseau structurant
urbain

Vitesse maximale
(km/h)

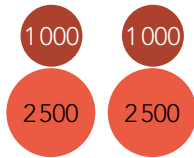
Intensité carbone
du déplacement
(gCO₂e/voy./km)



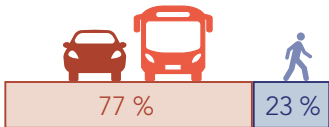
2021



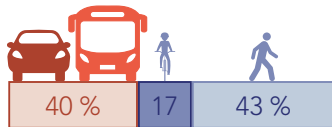
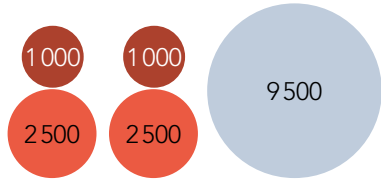
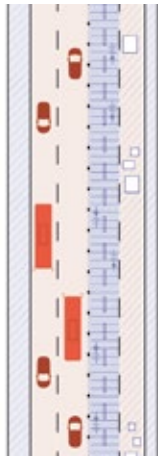
Capacité horaire
maximum
(voy./h par voie)



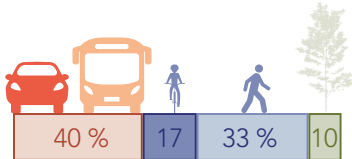
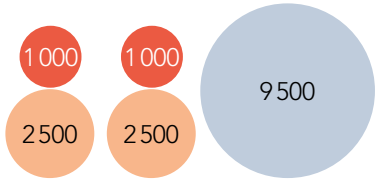
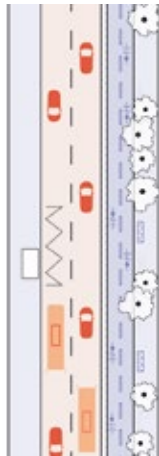
Partage modal de l'espace
(% m²)



2022



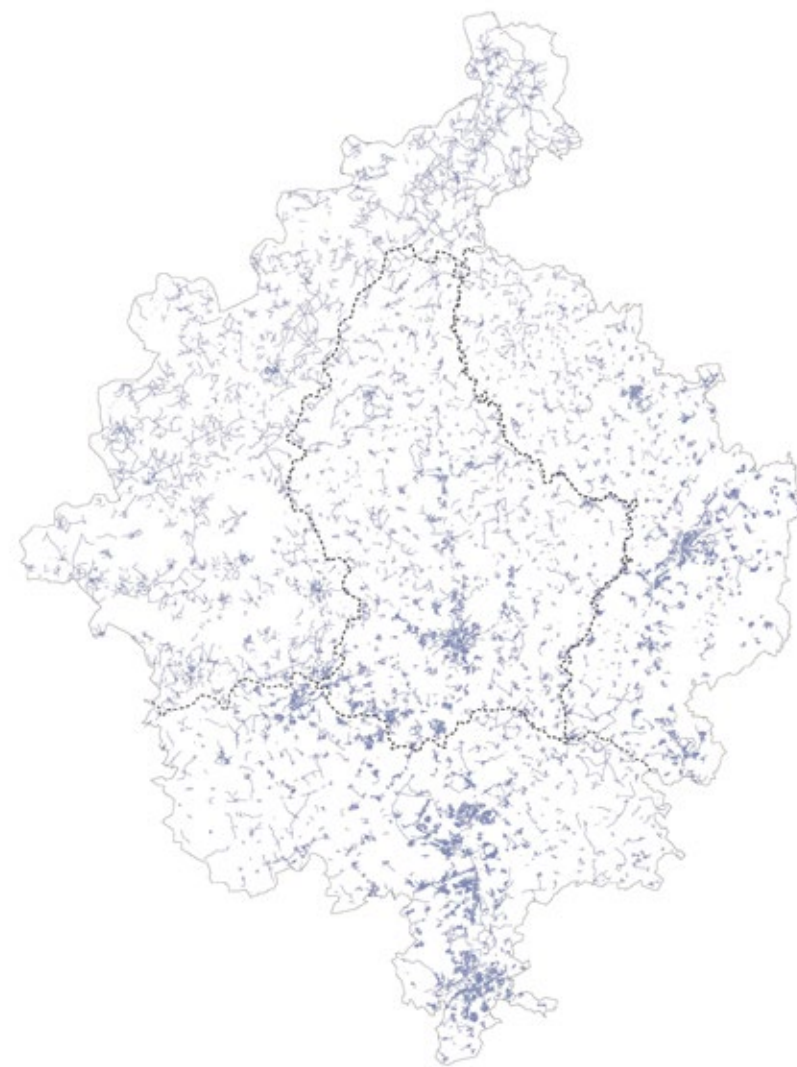
2030



Voies résidentielles



Quartier résidentiel de Gasperich, octobre 2021.



Vitesse des tronçons

0 à 30 km/h

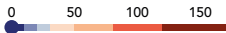
0 10 20 30 40 50km



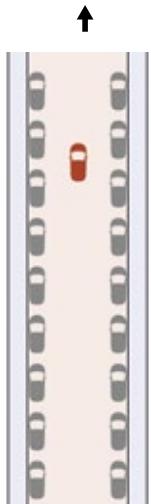
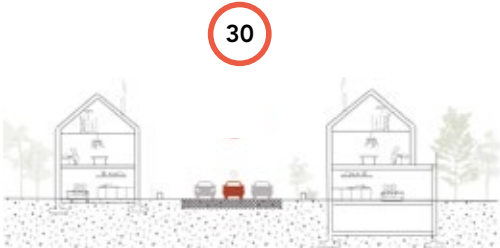
Voies
résidentielles

Vitesse maximale
(km/h)

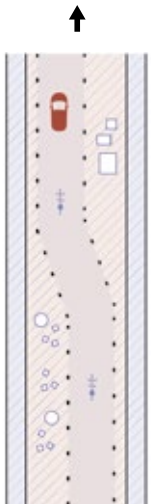
Intensité carbone
du déplacement
(gCO₂e/voy./km)



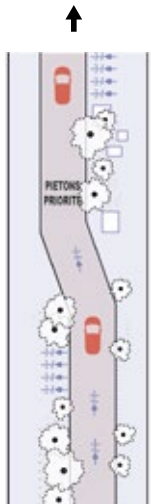
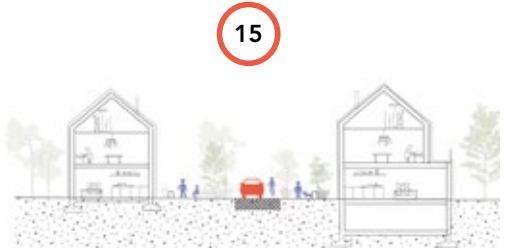
2021



2022

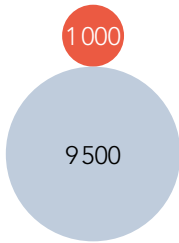
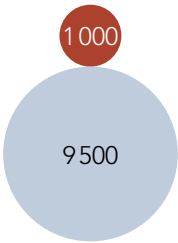


2030

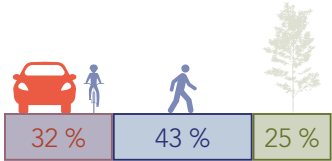
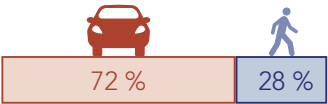


Capacité horaire
maximum
(voy./h par voie)

1 000

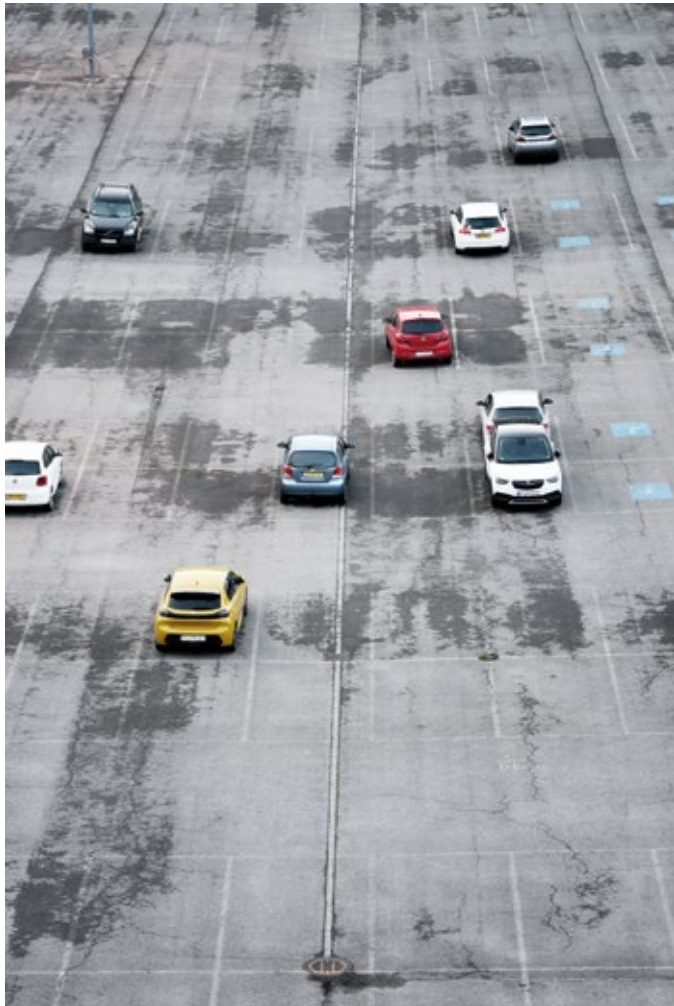


Partage modal de l'espace
(% m²)



Mesures d'accompagnement

LES MESURES PERMETTANT DE FAIRE ÉVOLUER LES MOBILITÉS VERS LA NEUTRALITÉ CARBONE SONT DE NATURE VARIÉE. CERTAINES SONT PRÉSENTÉES DANS LES PAGES QUI SUIVENT. ELLES S'APPUIENT SUR CERTAINES DÉMARCHES MENÉES ACTUELLEMENT DANS DIVERS PAYS ET RÉGIONS MAIS NE SONT BIEN SÛR PAS EXHAUSTIVES.



Belval, juin 2021.

GOUVERNANCE DES RÉSEAUX ROUTIERS

Limitation du développement du réseau routier

De nombreux pays européens continuent à développer leurs infrastructures routières et en particulier les autoroutes, que ce soit pour améliorer la fluidité du trafic ou pour étendre le réseau ou en accroître la capacité. À l'inverse, interdire l'extension nouvelle de réseaux routiers constitue une mesure réglementaire visant à agir directement sur les émissions de CO₂ (pas de stimulation du trafic autoroutier) ainsi qu'à favoriser le développement des infrastructures cyclables et des réseaux de transports en commun.

Le cas du Pays de Galles : gel des nouveaux projets de construction de routes dans l'optique d'atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050 et transfert des budgets pour des investissements développant le réseau cyclable et de transports publics (proposition du ministre en charge du changement climatique, Lee Waters au Parlement gallois, juin 2021).

En Autriche, le Gouvernement vient de renoncer (décembre 2021) à plusieurs projets d'élargissement du réseau d'autoroutes en vue de limiter la circulation automobile et de respecter ses engagements pour atteindre la neutralité carbone en 2040. La promotion de solutions de mobilité alternatives devrait accompagner cette mesure.

>> Introduire une réglementation permettant de limiter les investissements dans le développement du réseau routier s'ils ne sont pas en phase avec les objectifs climatiques. Privilégier l'entretien du réseau existant et le développement des réseaux de modes alternatifs.

Réduction des vitesses de circulation sur les autoroutes

La limitation de la vitesse de circulation sur autoroutes, autrefois activée principalement pour lutter contre les accidents, peut également être introduite pour induire une baisse directe des émissions de CO₂ et de NO_x liées au trafic routier. L'impact positif d'une réduction de la vitesse maximale autorisée sur autoroutes est conséquent. En outre, la forte corrélation entre vitesse des déplacements et demande de mobilité a bien été documentée sur le long terme (l'accès à une vitesse plus élevée permettant aux usagers de parcourir un plus grand nombre de kilomètres dans un temps donné).

Les Pays-Bas ont introduit un abaissement général de la vitesse maximale autorisée sur l'ensemble du réseau autoroutier durant la journée (de 130 km/h à 100 km/h). Cette mesure, introduite par le Parlement début 2020, s'inscrit dans la mise en œuvre du plan d'action pour lutter contre les émissions de gaz polluants.

>> Abaisser la vitesse de circulation maximale autorisée sur le réseau routier structurant du Luxembourg.

Mesures d'accompagnement

FISCALITÉ ET DROIT DU TRAVAIL

Réinterroger les déductions fiscales proportionnelles à la distance domicile-travail

Actuellement, le régime fiscal luxembourgeois prévoit une modération d'impôt pour les salariés dont les déplacements domicile-travail sont supérieurs à 4 km, mesurés en ligne droite entre la commune du domicile et la commune du lieu de travail du contribuable résident, et pour le contribuable non-résident, entre le chef-lieu de la commune du domicile du contribuable et celui du lieu où ce dernier est censé entrer sur le territoire luxembourgeois, puis en ajoutant la distance entre le chef-lieu de la commune où le contribuable entre sur le territoire luxembourgeois et celui du lieu de son travail. Les distances kilométriques calculées sont alors indiquées en « unités d'éloignement ». Le montant de l'abattement forfaitaire est de 99 € par unité d'éloignement – l'abattement maximum ne pouvant pas dépasser 26 unités d'éloignement ou 2 574 € par an ou 214,50 € par mois¹.

Cette modération d'impôt avantage donc indirectement les déplacements domicile-travail de longue distance.

Idéalement, en vue de favoriser les courtes distances et de limiter le trafic routier, les réductions d'impôt sur le revenu dans le cadre des déplacements domicile-travail devraient être inexistantes, comme c'est le cas dans plusieurs pays européens (Italie, Grande-Bretagne, etc.). Une solution intermédiaire consiste à avantager l'usage des transports publics, du vélo et de la marche par rapport à la voiture, par l'intermédiaire de réductions d'impôt.

En Espagne, plutôt que d'autoriser la déduction des frais de déplacement domicile-travail, les incitants fiscaux sont réservés à la déduction des frais de déménagement (de 2 600 à 4 000 €) lorsqu'une personne anciennement sans emploi accepte un nouveau travail éloigné de son lieu de domicile ou accepte de déménager plus près de son nouveau travail. Cette mesure vise à raccourcir les trajets domicile-travail et à diminuer le trafic qu'ils génèrent.

>> Envisager une réforme du système de déduction fiscale relatif aux déplacements domicile-travail favorisant la proximité entre le lieu de résidence et le lieu de travail.

¹ https://www.guidedesimpots.lu/deduction_fiscale_luxembourg/

Taxation des voitures de société

Dans de nombreux pays européens, une part importante du parc automobile bénéficie de déductions fiscales car les véhicules sont immatriculés en tant que voitures de société. La modification de ces régimes fiscaux pour les voitures de société constitue un levier important pour réduire la taille du parc automobile ou le faire évoluer vers des véhicules plus propres.

En Belgique, seuls les véhicules de société électriques pourront bénéficier d'un avantage fiscal à partir de 2026. Le système du « budget mobilité » instauré dans certaines entreprises permet également d'échanger le « droit » à une voiture de société contre un « budget mobilité ». Celui-ci peut être réaffecté librement soit pour un véhicule « propre », soit pour un moyen de transport durable ou pour des frais de logement (par exemple pour vivre plus proche du lieu de travail), ou encore être retiré en argent pour le montant restant.

>> Évaluer la pertinence d'une telle mesure dans le contexte du Luxembourg, où il existe depuis 2017 des abattements fiscaux « mobilité durable » relativement limités : 300 € pour les vélos ou vélos avec assistance électrique ; 2 500 € pour les véhicules neufs hybrides rechargeables, dont les émissions de CO₂ ne dépassent pas 50 g, et 5 000 € pour les véhicules neufs électriques ou à l'hydrogène avec zéro émission.

Soutien à l'usage du vélo dans le cadre des déplacements domicile-travail

Les primes à l'achat constituent une mesure courante d'incitation à l'usage du vélo, et le Luxembourg permet déjà à ses résidents d'y prétendre (jusqu'à mars 2022). Certains pays vont plus loin que ces aides uniques et visent à soutenir l'usage du vélo dans le cadre des déplacements domicile-travail spécifiquement, par l'intermédiaire de l'exemption de taxes pour les vélos de société ou par la mise en place d'indemnités kilométriques.

En Belgique, l'indemnité vélo est octroyée par l'employeur pour les trajets réalisés à vélo entre le domicile et le travail, à hauteur de 0,24 €/km max. (déductible fiscalement, indexée et exonérée de cotisations sociales). Ce remboursement peut être rendu obligatoire par convention collective sectorielle.

>> Mise en place d'une indemnité kilométrique pour l'usage du vélo dans le cadre de déplacements domicile-travail (en plus des aides et abattements à l'achat de vélos et vélos à assistance électrique (VAE) déjà disponibles au Luxembourg).

Mesures d'accompagnement



Cloche d'Or, octobre 2021.

TARIFICATION DES MOBILITES

Covoiturage

L'augmentation du taux d'occupation moyen dans les voitures constitue un levier important pour réduire le volume total d'émissions de gaz à effet de serre liées aux transports individuels motorisés. Un des freins importants au covoiturage est la faible rémunération financière proposée à l'automobiliste offreur. En plus des modèles existants au Luxembourg, CoPilote, Klaxit, des solutions publiques de soutien financier au covoiturage pourraient être mises en place.

Aux États-Unis, Washington D.C. a lancé un programme pilote à l'échelle métropolitaine visant à réduire la congestion routière et la pollution : elle paie 2 \$ par jour aux navetteurs qui font du covoiturage. L'hypothèse est qu'après quelques mois de paiement, les gens deviendront des covoitureurs à plein temps sans incitation financière. Les personnes s'inscrivent sur un programme en ligne intitulé Commuter Connections dans lequel elles indiquent leurs trajets et trouvent des véhicules de covoiturage pour les trajets correspondants. Au bout de trois mois d'essai, les collectivités publiques (États, villes) reversent la somme maximale de 130 \$ à chaque covoitreur qui aurait respecté son engagement pendant trois mois.

>> Mener une étude d'opportunité sur les formes de soutien financier direct à la pratique du covoiturage dans la Grande Région.

Tarification du stationnement

Le stationnement est reconnu comme un des leviers les plus efficaces pour favoriser le report modal de la voiture vers des modes alternatifs. L'introduction d'une tarification dynamique permet de surtaxer le stationnement pendant les pics d'affluence, et également de prendre en compte les types de véhicule (motorisation, niveaux d'émissions, poids ou taille, etc.) et ainsi de restreindre plus fortement l'accès aux véhicules les plus polluants.

En Norvège, certaines villes ont introduit des tarifs de stationnement dynamiques dans les parkings municipaux et y offrent notamment des réductions pour les véhicules électriques.

>> Développer une stratégie générale de limitation du stationnement en régulant et uniformisant les tarifs, mais également en introduisant une tarification dynamique selon l'affluence ou la catégorie du véhicule (taille, poids, niveau de pollution).

Normes pour les places de stationnement

Dans de nombreux pays, des normes fixent des seuils minimaux pour le nombre de places de stationnement pour chaque construction selon le type d'affectation. Ces normes ne tiennent pas compte des besoins effectifs des usagers (par exemple la démotorisation des ménages) et ne s'inscrivent pas dans une stratégie de décarbonation des mobilités. Certains projets urbains récents (par exemple, des écoquartiers) illustrent la possibilité de s'affranchir, du moins partiellement, de ces normes.

>> Réévaluer la pertinence des règlements pour la construction de places de stationnement et passer d'une logique de plancher de stationnement à une logique de plafond de stationnement.

Stratégie de déploiement du système de mobilité décarbonée

NOUS PROPOSONS ICI UNE TRAME D'ACTION EN TROIS TEMPS : AMORÇAGE (0-1 AN) / DÉPLOIEMENT (1-5 ANS) / CONSOLIDATION (5-10 ANS).



Belval, mai 2022.

2022 (0-1 AN) : AMORÇAGE

Dès 2022, il est possible d'agir sur les distances les plus courtes, en privilégiant les distances liées à la vie scolaire ou au rythme de vie des enfants (école, activités périscolaires, culturelles ou sportives).

Nous préconisons d'agir simultanément :

- sur la promotion de comportements de pionniers pour susciter une émulation d'usages ;
- sur la mise en place de dispositifs / équipements simples qui facilitent l'adoption de ces usages.

Ces deux axes d'action permettent de déployer les premières mesures de proximité, de sobriété et de mutualisation, en valorisant les ressources existantes dès janvier 2022. Il s'agit de « faire avec l'existant », de composer avec les contraintes de temps, de budget, de compétences, d'habitudes, de réglementation.

Proximité : s'appuyer sur les réseaux sociaux des pionniers

Pour recruter les pionniers, nous pouvons cibler des moments critiques des phases de vie, où se jouent des décisions d'équipement, de modes de vie. Ainsi, les futurs parents doivent être accompagnés avant même la naissance de l'enfant, moment crucial où se prennent les décisions déterminantes pour la mobilité du ménage. De même, les employeurs, au moment d'un recrutement (ou d'une signature de convention de stage), doivent se saisir de l'occasion pour aborder les questions de mobilité.

Les fêtes de fin d'année en juin 2022 doivent être préparées au plus vite, tout comme les tournois et compétitions sportives du 2^e trimestre. Ces festivités sont autant d'occasions pour les pionniers de faire essayer des triporteurs, vélos-cargos ou autres remorques à vélo. De même, la séquence de la rentrée de septembre 2022 doit être anticipée, dès la conception des formulaires de réinscription ou

d'inscription au printemps 2022, en vue de recruter des familles « ambassadrices » de mobilité décarbonée et de faciliter la mise en relation de familles voisines.

Sobriété de moyens : faire avec l'existant, à budget, compétences et lieux constants

Parmi les mesures d'équipement ou d'aménagement, la création de trajets pédibus ou des cartographies des flux autour des équipements « phares » (au sens de repères structurants) du territoire sont essentielles : ce sont des révélateurs de proximité, qui facilitent la mise en réseau et la connexion entre les pionniers et leurs sphères d'influence directes.

Des tracés de pistes cyclables temporaires, inspirés des coronapistes, doivent également être démultipliés, en particulier à proximité des équipements générateurs de flux (écoles, enseignement supérieur, zones de bureaux, centres commerciaux...). Les voies attenantes à ces « lieux balises » doivent être sécurisées / coupées à la circulation automobile, ne serait-ce que ponctuellement (aux horaires d'ouverture ou de fermeture des écoles, par exemple), ou bien dans le cadre de semaines promotionnelles de la mobilité décarbonée. Dans le même laps de temps, les food trucks et autres épiceries mobiles permettant d'amener des services dans des zones peu denses doivent être promus (réduction des droits de place, prise en charge des frais d'assurance, relais de communication...).

Mutualisation : rendre visible une demande latente en regroupant les usagers

Des groupes de cyclistes peuvent se réunir pour rouler « en grappes » sur les infrastructures existantes : ces « vélabus » suivent des « lignes », comme sur un réseau de transports en commun. Le fait qu'ils sont nombreux (et visibles) renverse la hiérarchie d'occupation de l'espace public et les voitures s'adaptent à la vitesse des cyclistes, sans les mettre en danger. **Pour commencer, des « vélorutions » peuvent avoir lieu sur ces itinéraires,**

Stratégie de déploiement du système de mobilité décarbonée

sous forme festive et éphémère ; la répétition et l'augmentation de la fréquence des festivités permettront de pérenniser la pratique et de toucher un plus grand nombre d'usagers.

Des groupes de "playing streets" peuvent en parallèle être sollicités pour tracer des animations ou jeux au sol, illustrant ainsi que le bitume peut être utilisé autrement que pour la mobilité automobile. Les créneaux de sortie d'école (plus encore que les créneaux d'arrivée à l'école) doivent également être utilisés pour piétonniser de larges aires autour des écoles, facilitant la rencontre entre familles, et les usages récréatifs de la rue.

Des entreprises peuvent mettre en place des « swaps » de surfaces, permettant aux salariés d'une entreprise de pouvoir travailler dans des locaux d'autres entreprises plus proches de leur domicile ; pour démarrer, une première cohorte d'entreprises sera constituée, en ciblant une zone de bureaux et les axes qui desservent cette zone. Ainsi, il sera d'autant plus probable que les salariés qui se rendent vers la zone de bureaux trouvent une autre entreprise sur leur axe de mobilité, et qu'ils puissent y travailler (en France, les Dirigeants Responsables de l'Ouest ont déjà mis en place ce dispositif en 2021).

En support du réseau de pionniers, nous préconisons de constituer un réseau d'alliés et de prescripteurs :

pédiatres, médecins généralistes, directeurs d'établissement scolaire, associations de parents d'élèves, clubs de sport (notamment un collectif d'entraîneurs sportifs), conservatoires de musique, groupes d'employeurs, syndicats, chorales, associations culturelles, associations de commerçants de centre-ville, associations de militants climat, PIE de l'ADEME pour les zones frontalières françaises, mais aussi la presse locale, des youtubeurs, des personnalités...

L'étude de préfiguration du fonds d'investissement dédié à la phase de consolidation doit être lancée, en impliquant la BEI, le Gouvernement, les grands investisseurs de la place.



Belval, mai 2022.

Stratégie de déploiement du système de mobilité décarbonée

2023 À 2027 (1-5 ANS) : DÉPLOIEMENT

C'est le cœur de cible pour l'action sur la mobilité, la période qui permet de lever des fonds, recruter des équipes, aménager des sites, démultiplier les prises de parole pour toucher le plus grand nombre (par effet de bouche-à-oreille, mais aussi par effet de masse lors d'événements populaires).

Le volet demande de mobilité doit ici convertir la dynamique événementielle en solutions permanentes, élargissant progressivement la gamme des usages auxquels il est possible de répondre autrement que "seul en voiture".

Le cœur de cette phase est sous-tendu par le déploiement du fonds dédié, afin de financer les équipements fixes ou mobiles, ainsi que les entreprises de services chargées du programme événementiel et de promotion de nouveaux usages (notamment des entreprises événementielles, culturelles ou de location/partage).

Proximité : extension progressive du maillage territorial et pérennisation des équipements éphémères

- **Extension du réseau de pionniers et de prescripteurs** : formation et embauche d'animateurs de quartier, de référents mobilité en entreprises, organisation de rencontres et partages d'expérience entre les référents des organismes partenaires.
- **Augmentation du nombre et de la fréquence de sites éphémères dédiés au vélo** (avec démonstration d'usage, location, réparation, maintenance), ce qui requiert le financement d'une flotte d'équipements mobiles mis à disposition des communes partenaires ou mis en location auprès d'entrepreneurs ou de citoyens.
- **Aide à l'implantation de petits commerces de bouche** (boulangeries, épiceries vrac, maraîchers...)

via des baux solidaires, des prêts d'honneur, des exonérations de taxes.

- **Évolution des règles d'urbanisme, imposant une diversification des usages à l'échelle des bâtiments, des macro-lots, des quartiers, des villes, des agglomérations** ; dézonage et déspecialisation des quartiers ; limitation de l'offre de stationnement automobile dans les constructions neuves. Ces mesures auront un effet « retard », mesurable sur la phase suivante pour l'essentiel en dehors des « quick wins » qui relèvent de la reconversion de bureaux vides en logements ou de programmes d'urbanisme éphémère sur des zones industrielles en cours de reconversion.
- **Première phase de reconversion du réseau viaire** : les principaux axes qui relient les nouveaux équipements de proximité commencent leur reconversion. D'abord dans le cadre de compétitions sportives organisées sur les surfaces libérées, une fois par an puis une fois par mois puis une fois par semaine. De nouvelles fonctions et utilisations de ces axes sont progressivement installées pour élargir les usages hors pratique sportive : spectacles, événements, formations, micro-entrepreneuriat, homologations et validation de prototypes...

Sur au moins un axe « témoin », des « kits de reconversion » sont installés pour former un parcours démonstrateur des différents gabarits et différentes fonctions qui sont envisagés pour la reconversion des axes ; design participatif des kits et gabarits (variations sur le gabarit du container de 20 pieds, facilitant le transport et le déplacement des kits), associant clubs de sport, associations sportives, entreprises agricoles ou du secteur de l'énergie, activités de réparation ou de petite industrie ; les kits sont placés de manière à entrer en interaction les uns avec les autres (les kits alimentaires sont proches de kits énergie ou de kits de nettoyage/gestion de contenants à usage multiple...).

Sobriété : infrastructures et usages permettant le report modal et la réduction de consommation de matières et d'énergie

- **Aménagements urbains associés à ces pratiques** (pérennisation puis extension des pistes cyclables, acquisition et reconversion de pavillons en tissu périurbain pour en faire des « maisons de quartier »...).
- **Augmentation de la fréquence des événements dédiés à la promotion d'une culture de la sobriété** : passer d'une fête annuelle à une fête mensuelle (en lien avec la programmation culturelle : déambulations, vélorutions, street parties, carnivals, parcours relais, parcours sportifs, fêtes de voisins...), puis pérennisation des pratiques en appui avec les marchés de producteurs pour atteindre un rythme hebdomadaire. Ces mesures nécessitent à la fois un support d'animation et de programmation (intégré au bureau des temps ou à l'animation culturelle), et la mutualisation d'équipements mobiles mis au service des différents groupes d'animation (sonorisation, barnums, buvette...). Les StreetCubes de *What Time is IT* font partie de l'infrastructure physique utilisable à cet effet.
- **Validation des protocoles de retrofitting des véhicules thermiques** : ciblage des véhicules les plus présents sur le territoire, création d'une agence nationale de protocoles de retrofitting, partagés en open source (pour faciliter l'adoption de ces protocoles par les garagistes du territoire et encourager la massification de la pratique).

Mutualisation : extension du nombre et de la nature des équipements et services mutualisés

- **Extension du concept de « travail de proximité »** (extension du nombre de zones de bureaux appliquant le « swap de mètres carrés » ; extension des linéaires d'axes sur lesquels le dispositif est déployé ; reconversion de tout ou partie des surfaces de pavillons sous-utilisés en espaces de coworking,

Stratégie de déploiement du système de mobilité décarbonée

conversion de garages sous-utilisés en petits commerces, zones de pick-up ou de livraison).

- **Reconversion de sites vacants en sites hybrides** (privilégier la diversification des usages de l'habitat pour maximiser la probabilité de pouvoir travailler et faire ses courses près de son lieu de vie).
- **Amorçage des flottes de quartier** : des équipements à usage temporaire, fragmenté ou éphémère ont vocation à devenir des « communs », et à être gérés en régie par les habitants ou entreprises d'un quartier ; le programme commence par les remorques à vélo et les triporteurs.
- **L'ensemble de ces mesures suppose la formation** :
 - > d'un office foncier solidaire ou du moins d'une structure d'investissement immobilière) ;
 - > d'un fonds de dotation (alimenté par les fondations du Luxembourg) ;
 - > d'un fonds d'investissement territorial, alimenté par la taxation sur les immatriculations de sociétés luxembourgeoises (l'installation d'une entreprise au Luxembourg étant conditionnée à une contribution à la décarbonation du Luxembourg).

AU-DELÀ DE 2027 (5-10 ANS) : CONSOLIDATION

Nous envisageons ici la consolidation des mesures mises en œuvre dans les cinq premières années, pour toucher la masse critique de la population et étendre son déploiement sur une plus large part du territoire.

Nous poursuivons trois axes de diversification qui permettent de consolider les mesures 1-5 ans.

- **Diversification des services et équipements sur un point donné** : nous répliquons et déployons des briques de solutions qui viennent compléter les écosystèmes de mobilité déjà amorcés.
- **Diversification des publics ciblés** : nous adaptons les écosystèmes de mobilité aux besoins et pratiques de nouveaux groupes sociaux.
- **Diversification des zones couvertes** : nous multiplions la densité de couverture géographique, à la fois en suivant des « tracés » d'infrastructure qui maillent le territoire, et en étendant l'activité par « halo » autour des points de maillage du territoire.

Cette phase de consolidation est intensive en capitaux, ce qui suppose d'avoir amorcé les programmes de financement (public et privé) dès la phase de déploiement (écriture des cahiers des charges des modules et dispositifs de déploiement), voire dès la phase d'amorçage (diagnostic des besoins, stratégies industrielles, stratégies de déploiement et de financement).

En outre, cette phase de consolidation s'appuie sur les réseaux de distribution et de partenaires qui ont été mobilisés au cours des deux premières phases.

À ce stade, les réseaux partenaires sont présents (et coordonnés) sur l'ensemble du territoire, ils partagent une culture commune qu'ils déploient dans chacun de leurs registres d'intervention.

Dans cette phase, les équipes en charge de la coordination et de la consolidation du programme sont en mesure de détecter les meilleures pratiques, d'en piloter la réplification d'un secteur à l'autre, pour renforcer « l'effet système » de cette politique de mobilité.

Proximité : consolidation de la ville du quart d'heure

- **Consolidation de l'infrastructure commerciale et tertiaire de proximité** : grand programme foncier permettant de racheter les droits à construire et de sécuriser des baux commerciaux de petite surface, à prix modéré, pour y accueillir une offre de proximité (dimensionnée pour une chalandise proche, sans nécessiter de grandes surfaces de vente ou de stockage).
- **Consolidation de l'offre de reconversion des garages** : massification de l'opération « Ma caisse devient une boîte ! », échange d'un véhicule contre un kit de mobilité + une dotation financière pour créer un commerce de proximité dans un garage (aménagement + stock et fonds de roulement + formation).
- **Extension de la reconversion du réseau viaire** : les gabarits validés au cours de la phase précédente peuvent être déployés à grande échelle, en suivant un planning par axe, en fonction des avancées des autres pans du programme. Chaque axe suit le même enchaînement de séquences : annonces dans les villes et villages attenants, mobilisation des réseaux de pionniers pour faire la pédagogie des programmes, modifications éphémères et réversibles, introduction de pratiques sportives, ludiques ou éducatives, puis pérennisation des équipements, services et installations (c'est la démarche suivie par Paris pour les voies sur berge).
- **Consolidation du réseau de pistes cyclables et d'infrastructures vélo** (extension du nombre de parkings, bornes de gonflage, flottes de vélos et remorques partagées).

Stratégie de déploiement du système de mobilité décarbonée

- **Consolidation de l'écosystème économique de la cyclo-mobilité** : hubs mobilité pour les coursiers ou cyclo-entreprises, ateliers (fixes et mobiles) de réparation ou de maintenance, fabrication et réparation de cadres ou de pièces détachées, filières de réemploi et de démantèlement des équipements en fin de vie.

Sobriété : généralisation de nouveaux gabarits de mobilité et d'usages récurrents du quotidien

La politique de sobriété pour cette phase porte sur la minimisation du ratio [distances] x [ressources] / [passagers].

Ce ratio permet de décomposer plusieurs axes de sobriété.

- **Distances : l'objectif est ici double, à la fois la réduction des distances de chacun des trajets et la réduction du nombre de trajets** :
 - > l'offre commerciale de proximité est un puissant levier pour agir sur ces deux variables ;
 - > renforcer l'intensité des usages quotidiens est un autre levier, du fait de la bascule d'activités (de loisir ou professionnels) de longue distance vers des activités de proximité – plus il y a de choses à faire sur place au quotidien, moins il y a d'occasions d'effectuer des trajets de longue distance.
- **Ressources : l'objectif est de minimiser la quantité de ressources nécessaires pour un trajet donné (à distance et nombre de passagers constants)**. C'est donc un principe de design de politiques publiques, qui se décline sur tout un panel de mesures :
 - > encourager le report modal avec l'objectif de systématiquement choisir le mode le plus sobre

pour un trajet donné ; c'est d'abord une question d'information et de pédagogie pour que la hiérarchie des modes de transport soit connue dans les différents cas de figure ; c'est aussi un principe de design qui doit guider les choix des architectes et des maîtres d'ouvrage lors de la conception de bâtiments ou d'opérations d'aménagement de l'espace public ;

> alléger et simplifier les équipements de mobilité : dans un souci de minimisation de la quantité d'énergie (et d'énergie grise) requise pour produire l'offre dans chaque segment, la reconversion/le rétrofit des équipements existants doivent être privilégiés plutôt que la fabrication neuve, la maintenance et le réemploi de composants étant, dans l'ordre, les options préconisées ; notamment, le rétrofit des véhicules thermiques est massifié au cours de cette phase, en tirant parti de l'infrastructure physique (les garages certifiés ayant la capacité de traiter les moteurs et hydrocarbures extraits des véhicules), l'infrastructure humaine (les mécaniciens sont formés, ainsi que les ingénieurs, les designers et architectes d'intérieur en charge de la transformation des véhicules), l'infrastructure juridique (les contrats d'assurance, les modalités d'amortissement, les conditions de financement...).

Mutualisation

- **Consolidation des flottes de quartier** : la gamme des remorques s'étend aux extenseurs d'autonomie pour petits véhicules électriques, aux véhicules de 7 ou 9 places (qui pourront ponctuellement servir pour les déplacements liés à la vie scolaire ou la pratique sportive) ; des flottes de LSEV (low speed electric vehicles) pourront se substituer aux véhicules individuels.
- **Consolidation du réseau de maisons de quartier** : dans les quartiers pavillonnaires, extension du nombre de pavillons convertis en espaces de coworking +

cuisines partagées + garages à impact positif (garages hébergeant des équipements de mobilité partagée ou des espaces commerciaux de quartier) + pépinières dans le jardin + hébergement de jeunes/étudiants (pour animer et entretenir le lieu).

Ouverture de bâtiments de quartier 24h/24 et 7j/7 :

cette phase étend la notion de mutualisation des bâtiments pour en maximiser l'usage entre journées, soirées, jours de semaine et week-ends ; cette mutualisation cible des bâtiments de taille supérieure au pavillon et requiert :

- > des aménagements physiques des bâtiments (stockage intermédiaire d'équipements utilisés dans telle ou telle phase d'usage, soit sur place soit dans une régie de quartier) ;
- > des aménagements d'usage (utilisation d'un auditorium d'entreprise comme salle de cinéma) ;
- > des aménagements de modèle économique (évolution vers une économie circulaire du bâtiment, qui, sur le long terme, devient démontable, réversible et valorise la valeur d'usage des matériaux employés, et non la propriété ou la location du bâti¹).

¹ Voir à ce sujet les travaux de recherche de la Fondation Bâtiment Énergie sur l'économie circulaire dans le bâtiment.

Empreinte carbone du scénario f(lux) : actions sur la mobilité

L'effet des actions proposées a été étudié entre 2020 et 2050 pour les parties luxembourgeoise et française de la région fonctionnelle, regroupant 70 % de sa population, les autres parties allemande et belge faisant l'objet d'une extrapolation. Le scénario tendanciel comme le scénario f(lux) de transition se basent sur les mêmes hypothèses d'évolutions économiques, démographiques et sociales prévues par le Statec et l'INSEE dans leurs projections.

Dans le scénario f(lux), le premier levier d'action fait converger progressivement les densités d'emplois, de commerces et de lieux d'études (écoles, lycées...) avec les densités de population, à une maille communale. Les besoins de déplacements naissent en effet des différentiels entre offre et demande : le meilleur exemple de ce déséquilibre est la disproportion d'emplois disponibles au Luxembourg en 2020, environ 450 000, et la population active résidant au Luxembourg, de l'ordre de 300 000 personnes, ce qui génère de nombreux déplacements frontaliers de longue portée. Les trois motifs de déplacements étudiés sont des motifs de mobilité quasi quotidienne, qui pèsent particulièrement dans le bilan carbone et le temps passé dans les transports des habitants de la région fonctionnelle.

Nous cherchons donc à rapprocher les origines des destinations non pas pour supprimer complètement ces déplacements mais pour en ramener une majorité dans le domaine de pertinence du vélo, pour des distances

inférieures à 10-20 km. Dans le modèle, les personnes classent les destinations potentielles en fonction de leur intérêt, en prenant en compte le temps de déplacement des différents modes disponibles, la facilité de circulation selon le type d'infrastructure utilisé, ainsi que le gain potentiel à choisir une destination plutôt qu'une autre (ce qui permet d'intégrer le différentiel de revenu entre le Luxembourg et les régions voisines). Elles sélectionnent ensuite une ou plusieurs destinations, selon des probabilités basées sur ce classement¹.

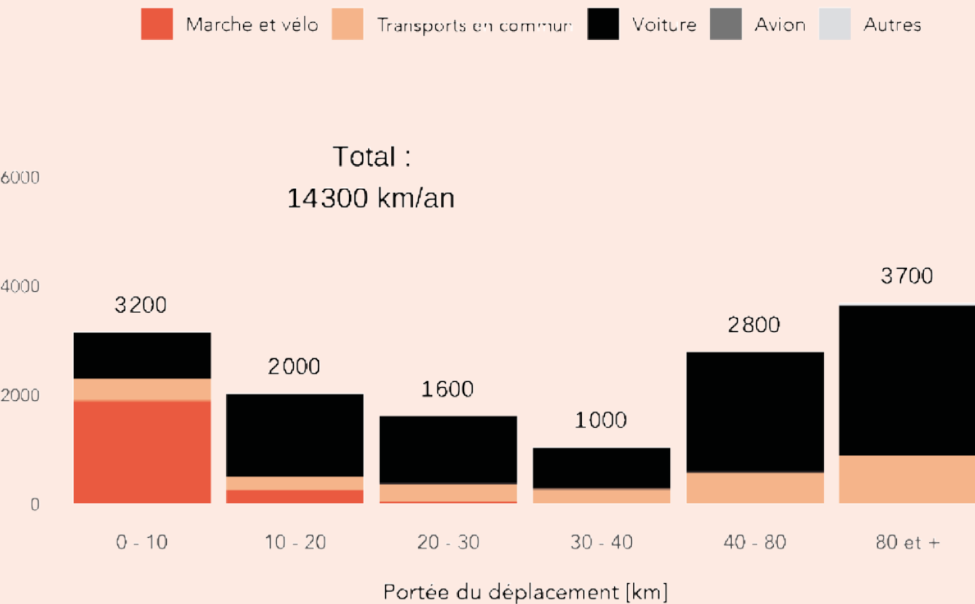
Même si nous pourrions appliquer cette méthode à d'autres motifs de déplacements que le travail, les achats et les études, nous ne prenons à ce stade pas d'hypothèses spécifiques pour les origines-destinations et les distances parcourues les concernant.

Nous fixons cependant à zéro dès 2030 les déplacements pour les loisirs en avion, contrainte qui pourrait être détendue si les nouvelles technologies d'avion permettaient de les rendre bas carbone à temps. Le télétravail permet, enfin, d'annuler une partie des 5 000 km/an en moyenne parcourus pour le travail, pour les catégories professionnelles qui s'y prêtent et pour une moyenne de deux jours par semaine.

¹ Selon un modèle d'opportunités d'estimation des flux de mobilité, d'après : Simini, F., González, M., Maritan, A. et al., A universal model for mobility and migration patterns, Nature 484, 96-100 (2012). <https://doi.org/10.1038/nature10856>

Distances moyennes parcourues par personne - scénario f(lux) - 2050

Sur un an, selon la portée du déplacement et le mode de transport utilisé, sur les périmètres luxembourgeois et français de la région fonctionnelle.



Empreinte carbone du scénario f(lux) : actions sur la mobilité

Avec ces premiers leviers d'équilibrage territorial qui jouent sur le nombre et la portée des déplacements, **les distances moyennes parcourues pour des déplacements de moins de 80 km (donc hors avion) baissent de 25 % dans le scénario f(lux), de 14 000 km/an à 10 500 km/an**. Les déplacements de moins de 20 km passent de 35 % à 50 % du total de ces déplacements de moins de 80 km, ce qui permet d'envisager une forte progression de la part modale des modes actifs (le vélo et la marche).

Pour pousser encore plus loin cette progression, nous étendons le domaine de pertinence du vélo, en considérant un déploiement massif d'infrastructures cyclables ainsi qu'une augmentation de la vitesse moyenne des vélos à 20 km/h, rendue possible par ces infrastructures et la pénétration progressive des vélos à assistance électrique. **Nous réduisons en parallèle l'intérêt relatif de la voiture, en abaissant sa vitesse, à la fois pour permettre de regagner l'espace de voirie nécessaire pour les autres modes, et pour contrer l'allongement des distances qu'a généré l'augmentation des vitesses des dernières décennies².**

Plus rapide et plus agréable, le vélo remonte dans le classement évoqué précédemment, ce qui permet de doubler sa part des distances parcourues totales, de 20 à 40 %, sur les distances de moins

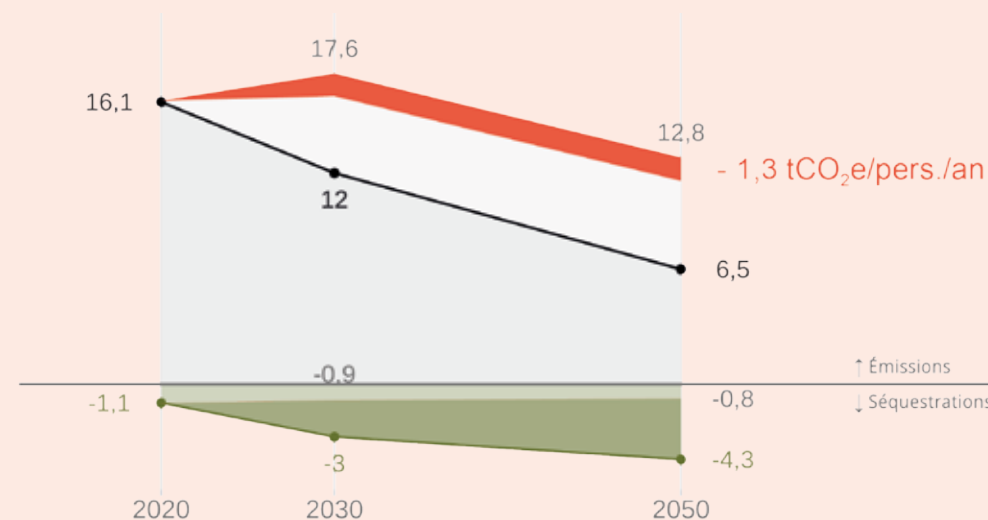
de 20 km. **Au global, toutes distances confondues, la part des modes actifs passerait de 5 à 15 %**. Les transports en commun sont moins favorisés par les évolutions proposées, puisque la baisse des déplacements de plus de 20 km diminue les déplacements pour lesquels ils sont pertinents, face à la voiture, et sont concurrencés à courte distance par le vélo, comme la voiture. **La part des distances parcourues en transports en commun passerait néanmoins de 15 à 20 %**.

Les distances parcourues en voiture baissent ainsi de 30 % entre 2020 et 2050, de 14 000 km/an à 9 500 km/an, avec deux derniers leviers permettant de faire baisser son empreinte carbone en 2050 : un taux de remplissage qui atteint 2 personnes par véhicule, ainsi qu'un taux d'électrification du parc automobile de 100 %, une hypothèse forte dont la faisabilité devrait être étudiée selon ses implications sur la consommation de matières premières et la faisabilité d'une transformation rapide du parc de véhicules existants.

Alors que la mobilité pèse en moyenne 2,4 tCO₂e/pers./an en 2020 dans l'empreinte carbone des habitants de la région fonctionnelle, ce chiffre passe à 0,7 tCO₂e/pers./an en 2050 dans le scénario f(lux), soit une réduction de 70 %, contre 2 tCO₂e/pers./an dans le scénario tendanciel. La mobilité représenterait alors 40 % de l'empreinte carbone cible de 1,8 tCO₂e/pers./an, pour un scénario +2 °C.

Empreinte carbone - scénario f(lux)

Actions sur la mobilité, en tCO₂e/pers./an, sur le périmètre région fonctionnelle.



² Corrélation étudiée notamment dans la thèse d'Aurélien Bigo : Bigo, A. (2020), *Les transports face au défi de la transition énergétique. Explorations entre passé et avenir, technologie et sobriété, accélération et ralentissement*, Opgehaal van <http://www.theses.fr/2020IPPAX068/document>

Bilan du potentiel de décarbonation des trois volets du scénario f(lux)

Le cumul de l'ensemble des actions du scénario f(lux) permet de diminuer significativement l'empreinte carbone moyenne des habitants de la région fonctionnelle du Luxembourg, de **16,1 tCO₂e/pers./an en 2020** à **6,5 tCO₂e/pers./an en 2050**, soit une baisse de 60 %. Dans le scénario tendanciel, cette baisse n'aurait été que de 20 %, portée essentiellement par une décarbonation ralentie de l'économie¹, sans action sur les usages.

L'empreinte carbone luxembourgeoise passerait de **24,5 tCO₂e/pers./an en 2020** à **9,4 tCO₂e/pers./an en 2050**, toujours loin de l'objectif de 1,8 tCO₂e/pers./an, et l'empreinte carbone de la partie française de la région fonctionnelle passerait de 9,8 tCO₂e/pers./an à 3,1 tCO₂e/pers./an, plus proche de l'objectif mais toujours bien au-dessus.

La séquestration carbone atteindrait, elle, **4,3 tCO₂e/pers./an en 2050**, un niveau insuffisant pour équilibrer les **6,5 tCO₂e/pers./an d'émissions** mais qui rendrait le territoire non seulement neutre en carbone mais même « décarbonant » si les émissions étaient réduites au niveau cible de **1,8 tCO₂e/pers./an**. Avec des séquestrations de 2 tCO₂e/pers./an, le Luxembourg séquestrerait proportionnellement moins que la partie française, à 3,4 tCO₂e/pers./an, qui

atteindrait donc la neutralité carbone en 2050 vu son niveau d'émissions équivalent.

Le groupe de leviers le plus efficace du scénario f(lux) concerne l'agriculture, la forêt, l'usage des sols et l'alimentation, et génère une baisse des émissions de 0,5 tCO₂e/pers./an et une hausse des séquestrations de 3,5 tCO₂e/pers./an, par rapport à un scénario tendanciel. Viennent ensuite les leviers concernant la construction, avec une économie de 1,9 tCO₂e/pers./an, puis les leviers concernant la mobilité, avec une économie de 1,3 tCO₂e/pers./an.

Il faudra développer d'autres actions pour atteindre l'objectif 2050, pour des postes qui sont moins liés directement à l'urbanisme.

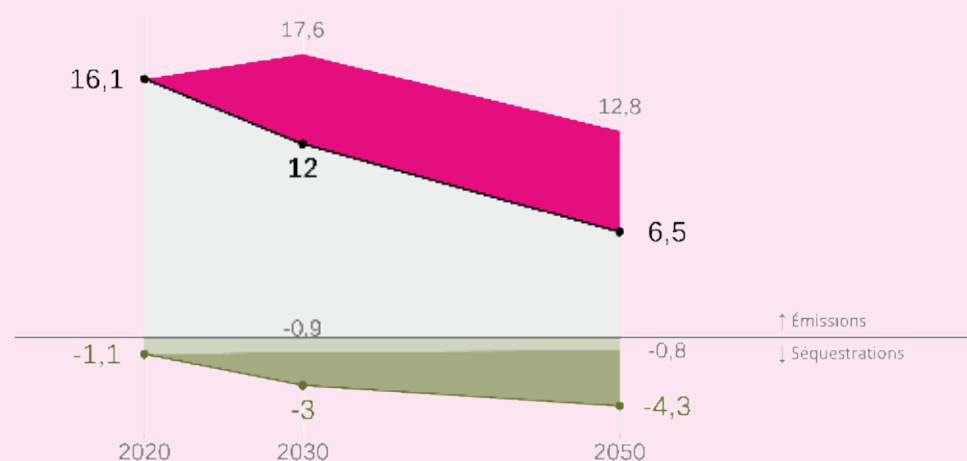
Il faudra tout d'abord s'attaquer aux émissions liées aux activités publiques (administration, santé, éducation, associations...) et privées (formation de capital, stocks de biens durables), qui représentent 2,9 tCO₂e/pers./an en 2050, dans le scénario f(lux). Il faudra également agir sur la consommation de biens et services des ménages, qui représente toujours 1,3 tCO₂e/pers./an d'émissions en 2050, dans le scénario f(lux).

Cependant, nos estimations montrent que même une réduction de 100 % des émissions de ces deux postes ne suffirait pas pour atteindre l'objectif 2050, ce qui signifie que

d'autres actions sont à développer pour l'agriculture, les sols, la forêt, l'alimentation, la mobilité et la construction : pousser la sobriété d'usage plus loin, améliorer encore plus l'efficacité des technologies, décarboner plus profondément le système d'approvisionnement énergétique...

Empreinte carbone - scénario f(lux)

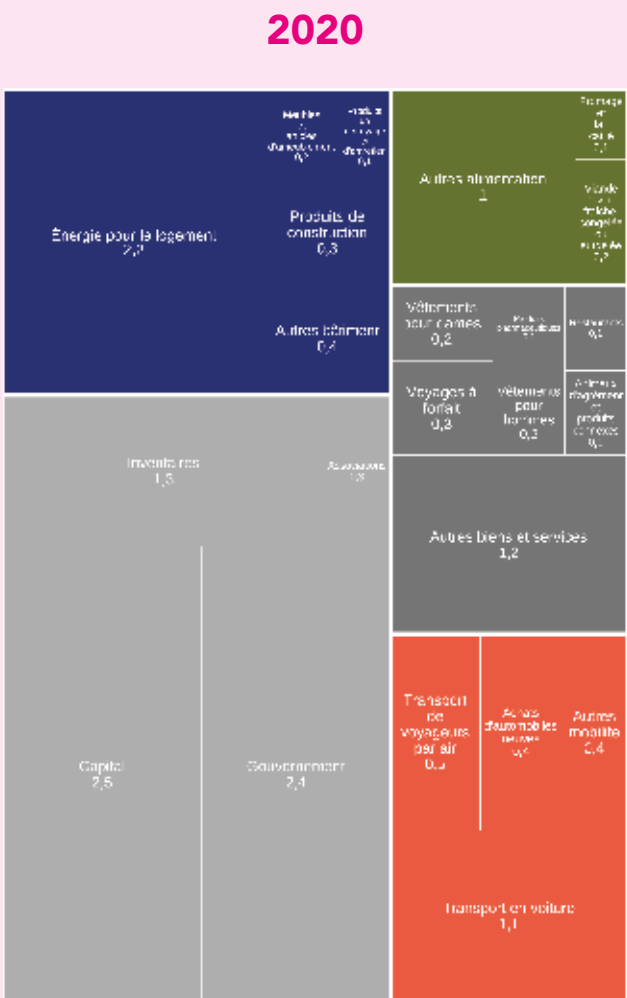
Toutes actions confondues, en tCO₂e/pers./an, sur le périmètre région fonctionnelle.



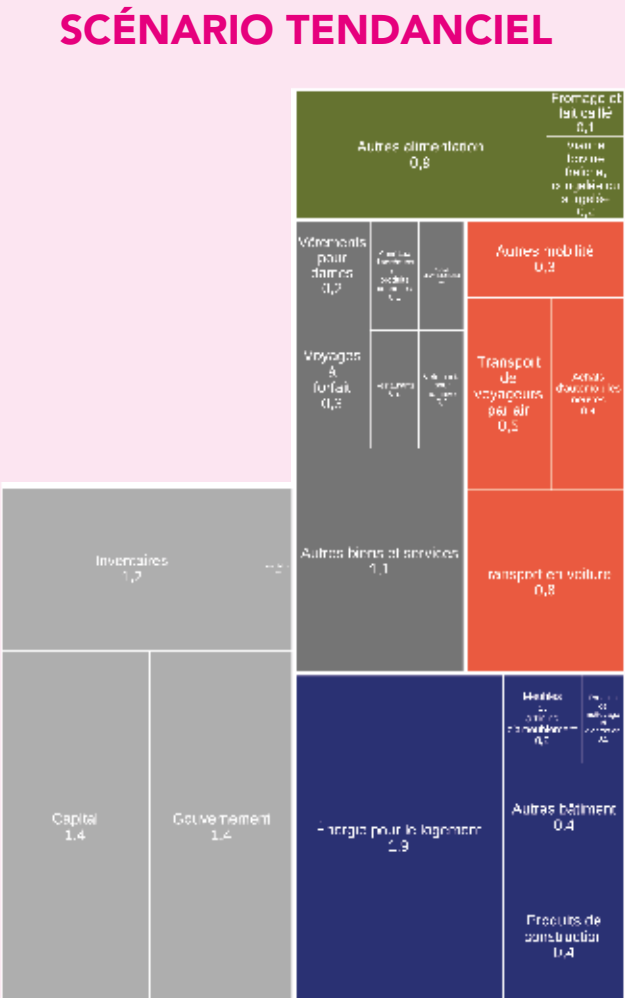
¹ Le scénario tendanciel est basé sur les hypothèses du scénario SSP2-4.5, comme nous l'avons précisé dans le rapport de la phase 2. <https://www.carbonbrief.org/explainer-how-shared-socioeconomic-pathways-explore-future-climate-change>

Évolution de la répartition de l’empreinte carbone

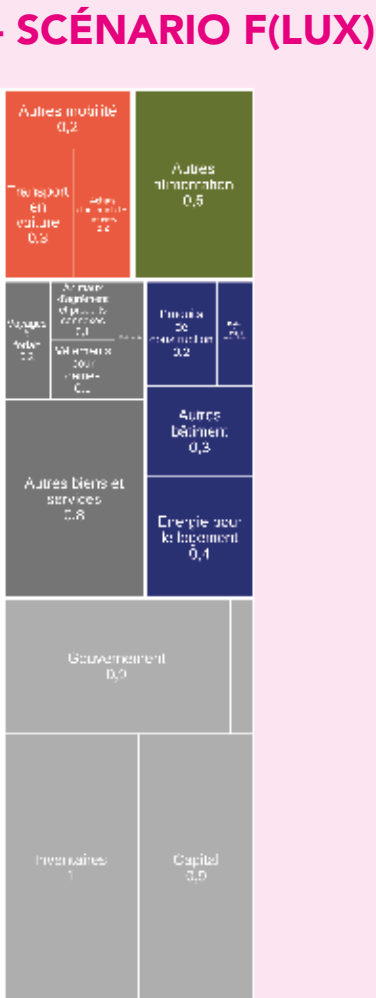
en tCO₂e/pers./an, sur le périmètre de la région fonctionnelle



16,1
tCO₂e/personne/an



12,8
tCO₂e/personne/an



6,5
tCO₂e/personne/an

- Mobilité
- Alimentation
- Postes hors consommation finale des ménages
- Bâtiment
- Biens et services

Projets démonstrateurs

3

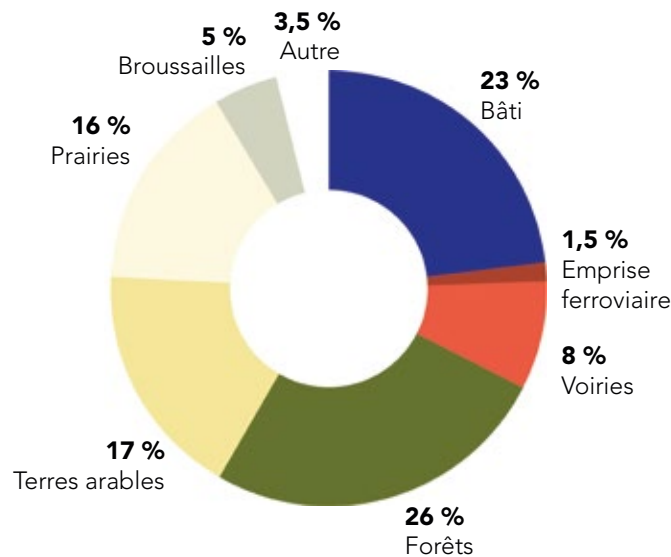
Projets démonstrateurs Luxembourg-Ville

CETTE TROISIÈME PARTIE PRÉSENTE CINQ PROJETS DÉMONSTRATEURS LOCALISÉS AU SUD-OUEST DE LUXEMBOURG-VILLE, SUR LES COMMUNES DE GASPERICH, CESSANGE ET LEUDELANGE.

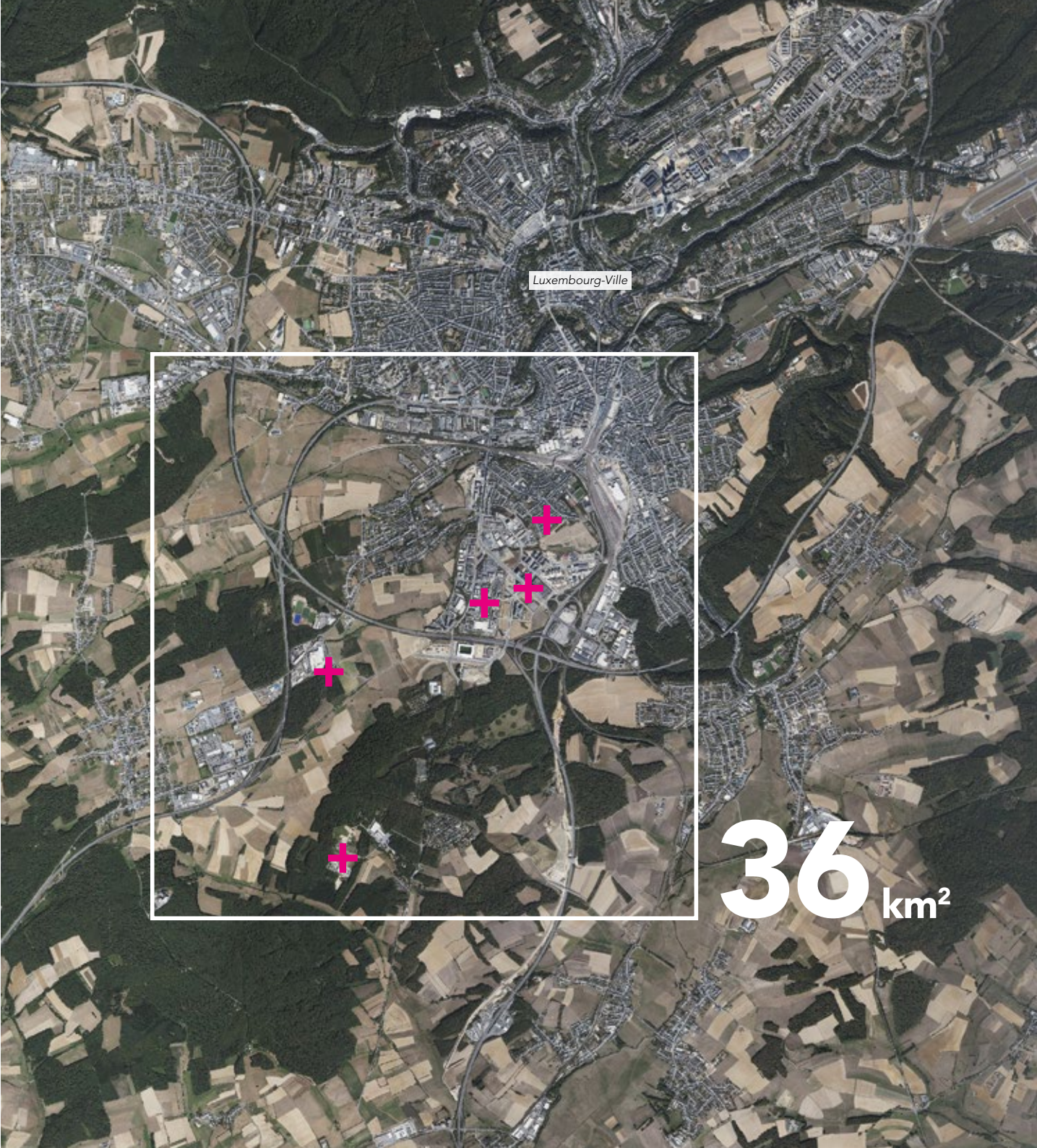
Ces cinq sites ont été choisis pour leur diversité typologique et leur représentativité des situations bâties et non bâties de la région fonctionnelle luxembourgeoise.

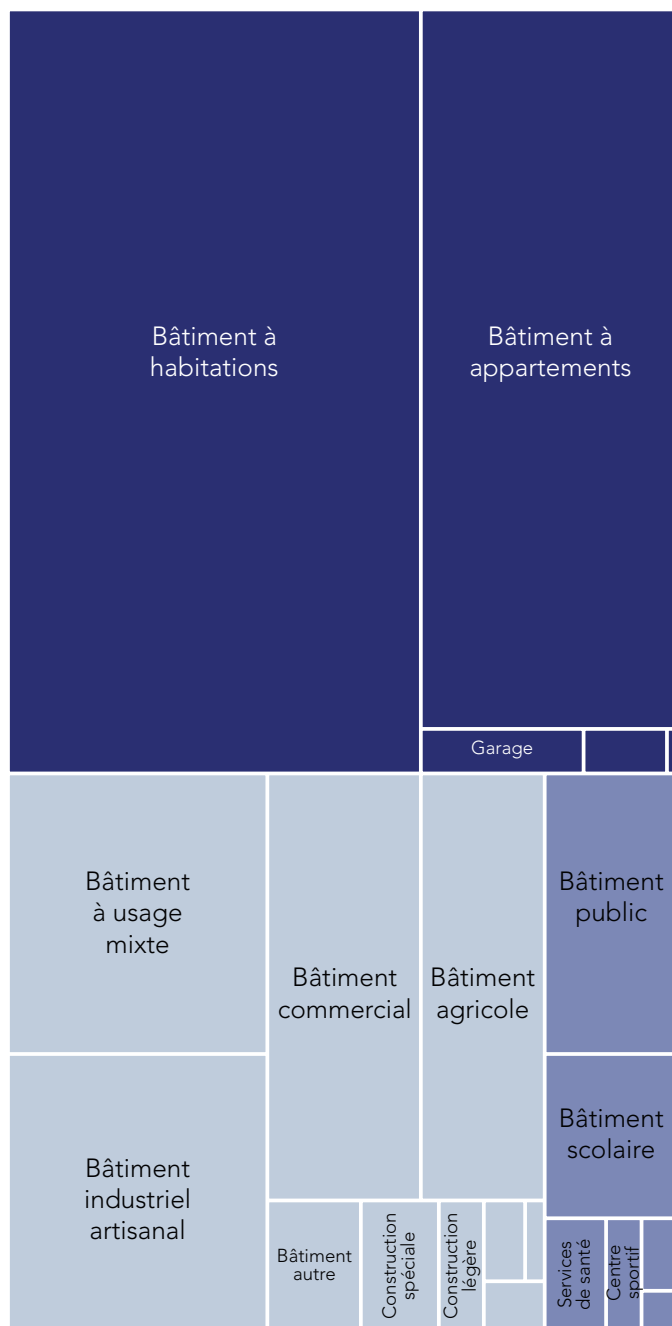
- Un tissu d’habitat pavillonnaire.
- Une zone d’activités monofonctionnelle.
- Un quartier urbain mixte en développement.
- Une clairière forestière.
- Un marché de produits alimentaires.

Nous y testons notre vision stratégique en déclinant nos trois volets d’action thématiques, en les adaptant au spécificités de chaque site.

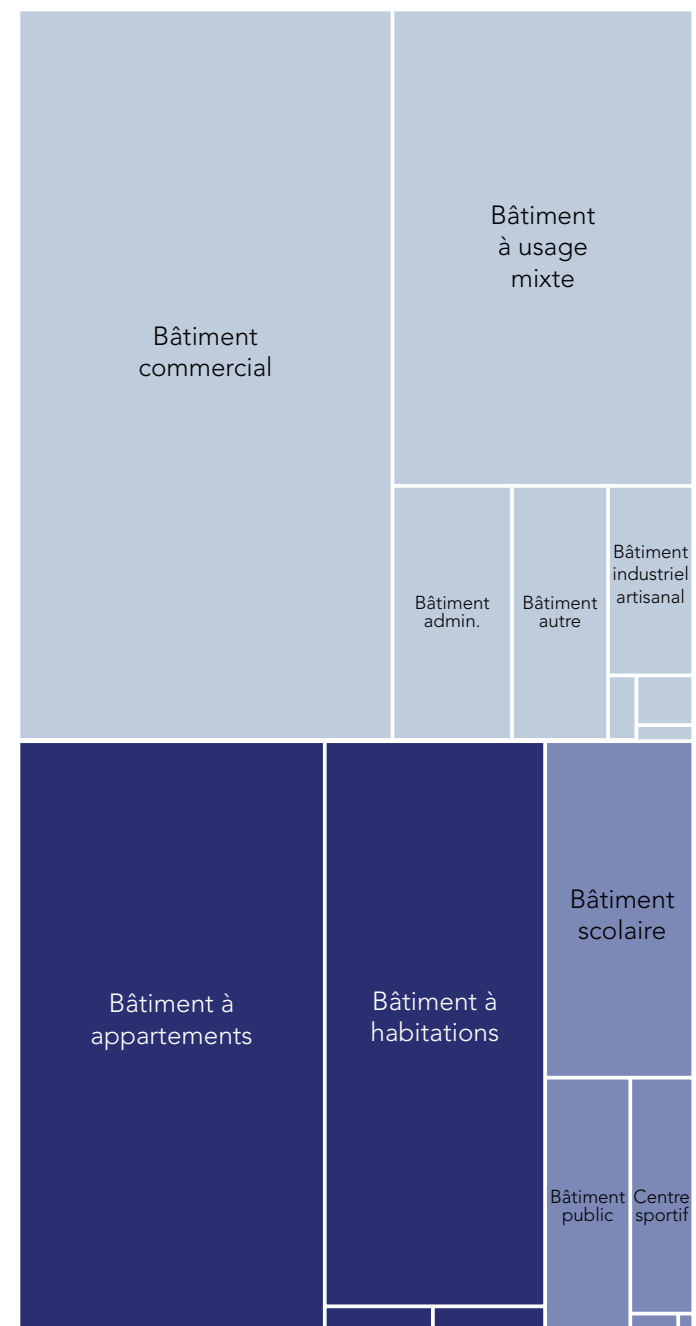


Répartition de l’usage des sols sur notre périmètre de 35 km².





Répartition des surfaces bâties au Luxembourg

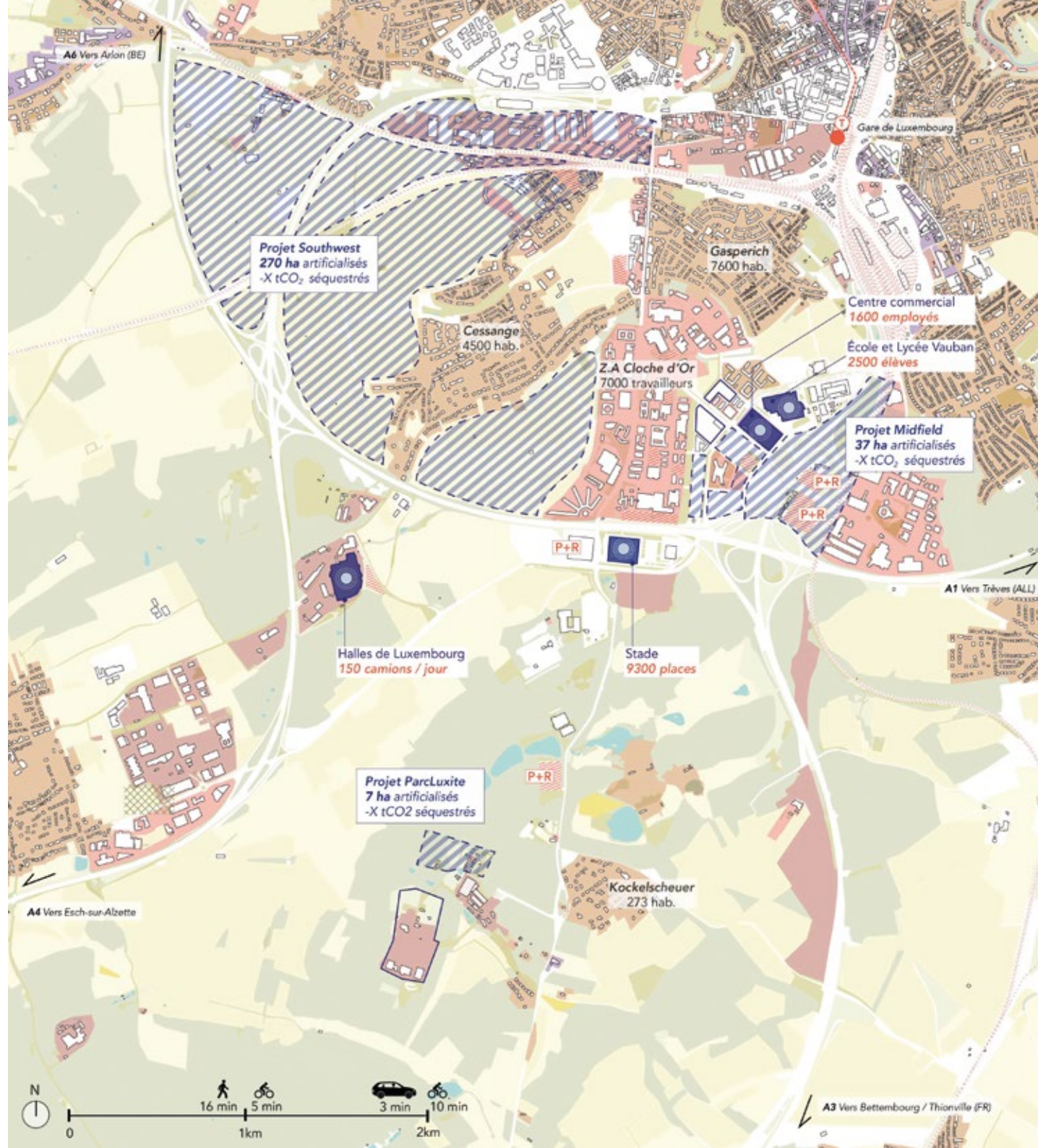


Répartition des surfaces bâties du site démonstrateur

État des lieux 2021

Le cadrage choisi illustre une situation luxembourgeoise classique : les tissus urbains à l'interface directe avec les territoires agricoles et forestiers ne tissent que peu de liens avec ceux-ci. Pourtant dépendante de ces espaces naturels, la ville continue de s'étendre en artificialisant progressivement la campagne proche. Le nouveau quartier de la Cloche d'Or en est l'exemple et de futurs projets de développement sont encore à l'étude. Actuellement, 300 ha situés en zone agricole (soit environ 10 % de notre cadrage) sont destinés à accueillir de nouveaux quartiers.

Dans l'attente de l'extension du tramway, les déplacements du secteur s'organisent principalement autour des mobilités carbonées. Les différents programmes urbains (centre commercial, lycée français, zones d'activités, stade, Halles de Luxembourg) concourent à drainer des flux conséquents depuis des bassins de vie élargis. Le manque de programmes de proximité, et un aménagement particulièrement favorable à l'utilisation de la voiture (nombre de voies, accessibilité des parkings) limitent significativement le recours aux mobilités actives.



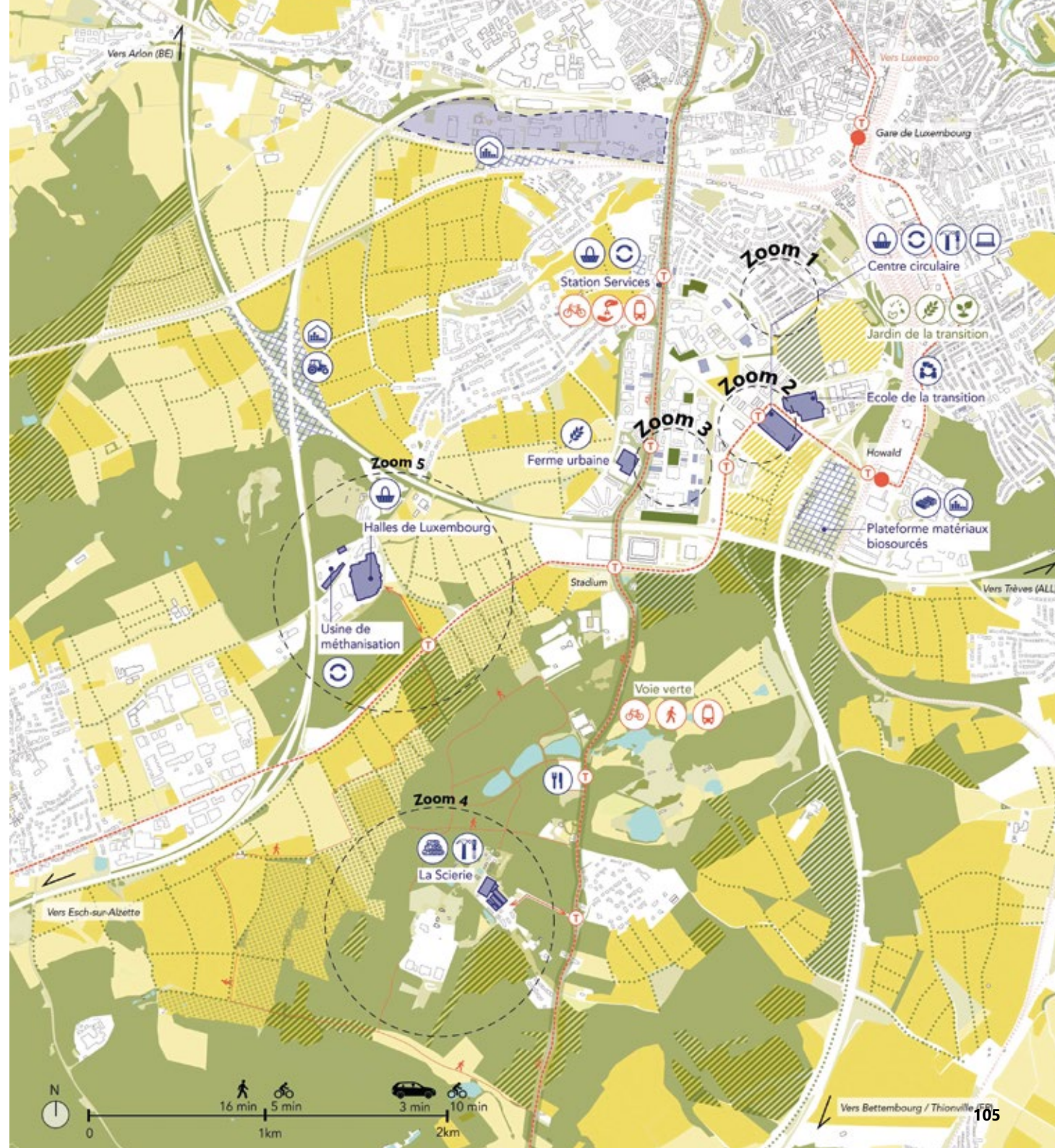
Vision 2030+

La vision à l'horizon 2030 retisse des liens forts entre les tissus urbains, agricoles et forestiers en favorisant un paysage de coprésence. Autrefois isolés, les sols agricoles et forestiers deviennent de véritables laboratoires de la transition pour produire localement, rendre les forêts résilientes au changement climatique et ainsi continuer à séquestrer du carbone. Ils deviennent également des lieux de promenade accessibles aux habitants des quartiers environnants.

Côté bâti, les archétypes représentatifs d'un système dépendant aux énergies fossiles deviennent les projets pilotes démonstrateurs de la transition. Le centre commercial devient le lieu de vente de la production agricole locale, proposant des ateliers, une recyclerie et offrant la possibilité de collecter les déchets pour une revalorisation dans l'usine voisine. La station-service devient une interface multiservices concentrant les arrêts de bus, station de vélo et station d'auto-partage. Ces pôles, lieux de passage quotidiens, se font relais ponctuels pour la collecte de paniers et colis. Enfin, le lycée accueille des formations en agriculture et sylviculture transformant le parc de la Cloche d'Or en territoire d'expérimentation autant que de loisirs.

Chaque mètre carré de sol, bâti ou non, devient un véritable gisement au service de la transition.

-  Tracé tramway
-  Arrêts tramway
-  Gare ferroviaire
-  Archétypes de la transition
-  Surfaces de stockage
-  Futurs développements potentiels sur sols artificialisés
-  Forêts
-  Zone d'extension forêts
-  Terres agricoles : prairies
-  Terres agricoles : sols cultivés
-  Zone d'extension agricole
-  Terres cultivées en agroforesterie
-  Réseau de haies bocagères



Zoom 1 Gasperich

Gasperich

49°35'23."N 6°07'32,4"E

Surface totale : 42 ha

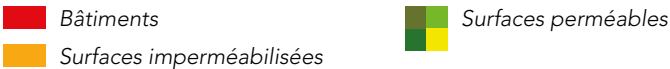
Population : 1 000 habitants

Empreinte carbone 2020 estimée : 25,5 tCO₂e/pers./an

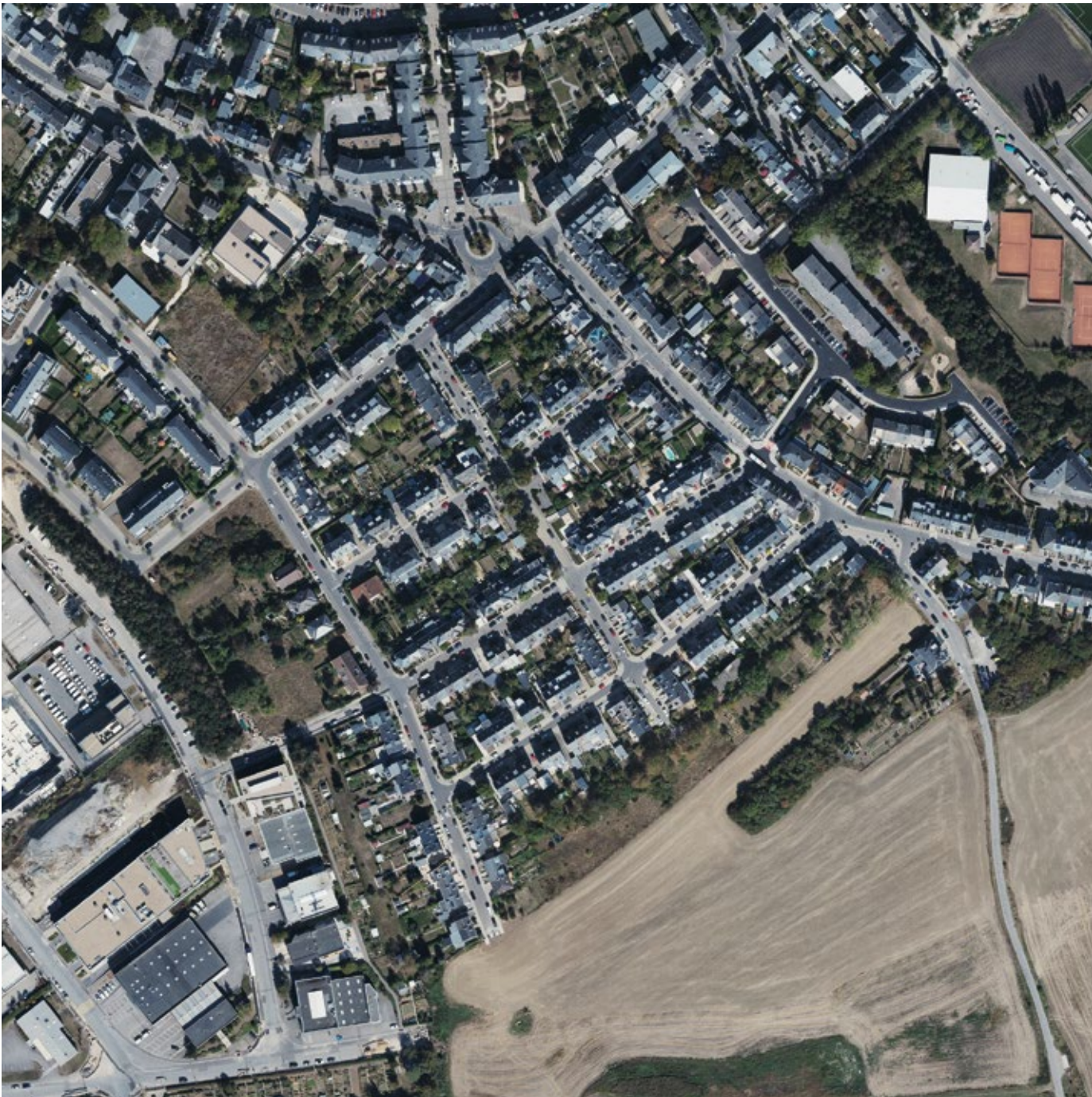
Occupation des sols :



Surface de plancher estimée : ± 220 000 m²



Source : Portail SIG du Grand-Duché de Luxembourg, 2021.



Source : Google Earth, 2021.



Quartier résidentiel de Gasperich, octobre 2021.







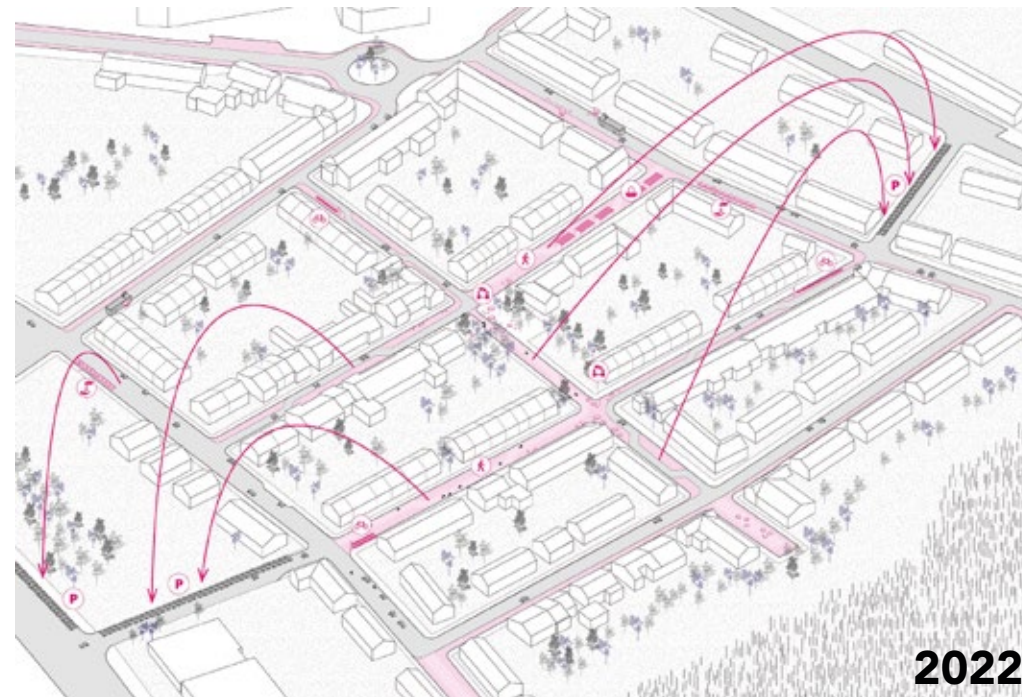
UN QUARTIER PAVILLONNAIRE TYPIQUE DU TISSU LUXEMBOURGEOIS

Le quartier résidentiel de Gasperich, construit dans les années 1950, est un quartier de maisons de ville relativement dense pour un tissu pavillonnaire.

Situé à 2 km à vol d'oiseau du cœur historique de Luxembourg-Ville, à moins de 1 km de la gare de Luxembourg et à quelques centaines de mètres du nouveau quartier de la Cloche d'Or, il jouit d'un positionnement très favorable pour en faire un quartier pionnier en matière de transition vers des mobilités décarbonées.

Le stationnement sur voirie occupe une part importante de l'espace public – une situation très courante pour ce type de quartier. En effet, si certaines maisons disposent d'un garage semi-enterré, leur exigüité conduit la plupart des habitants à stationner leur véhicule directement sur la voirie.

Enfin, si moins de la moitié des surfaces au sol sont artificialisées sur le secteur, les voiries sont en revanche peu plantées et très minérales du fait de l'espace occupé par l'automobile.

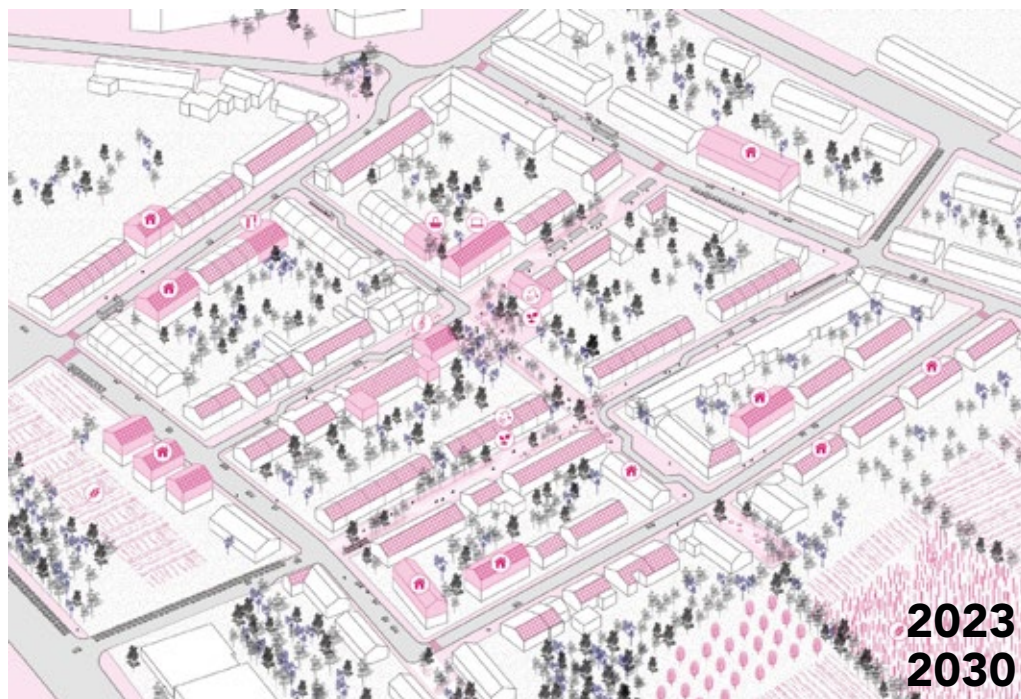


MOINS DE VOITURES, PLUS DE PROXIMITÉ

Dès 2022, un comité citoyen local est mis en place pour piloter la transition écologique du quartier. Abondé par un fonds européen dédié, et appuyé par des techniciens spécialisés dans la transition, il a pour objectif de décliner localement la stratégie de décarbonation du Grand-Duché et d'atténuer les impacts du changement climatique à l'échelle du quartier.

L'une des premières mesures mises en place est le **déplacement du stationnement automobile** sur deux rues ne présentant aucun adressage, et leur **mutualisation avec un parking** de la zone d'activités voisine (les places étant principalement occupées par les employés le jour, et par les résidents la nuit). Cette mise à distance du stationnement présente un double avantage : d'une part elle libère l'espace public pour accueillir d'autres usages (mobilités actives, commerces éphémères, plantations...), et d'autre part elle tend à réduire le « réflexe voiture » pour tous les déplacements de courte distance.

La refonte du schéma de circulation (boucles en sens unique afin de supprimer le trafic de transit sur les rues résidentielles) et **l'abaissement des vitesses à 15 km/h** concourent également à favoriser la circulation des vélos ainsi que les usages récréatifs de l'espace public. Deux rues sont par ailleurs totalement piétonnisées (sauf véhicules de secours et accès des personnes à mobilité réduite) afin d'accueillir un marché de produits locaux une fois par semaine. Un **système de pédibus** est créé pour acheminer les enfants du quartier à pied à l'école, et le comité citoyen facilite le rapprochement de plusieurs habitants pour covoiturer vers leur travail. Enfin, des **offres de mobilité partagée** (vélos, micro-automobiles électriques) sont implantées afin de réduire le besoin de posséder une voiture personnelle.

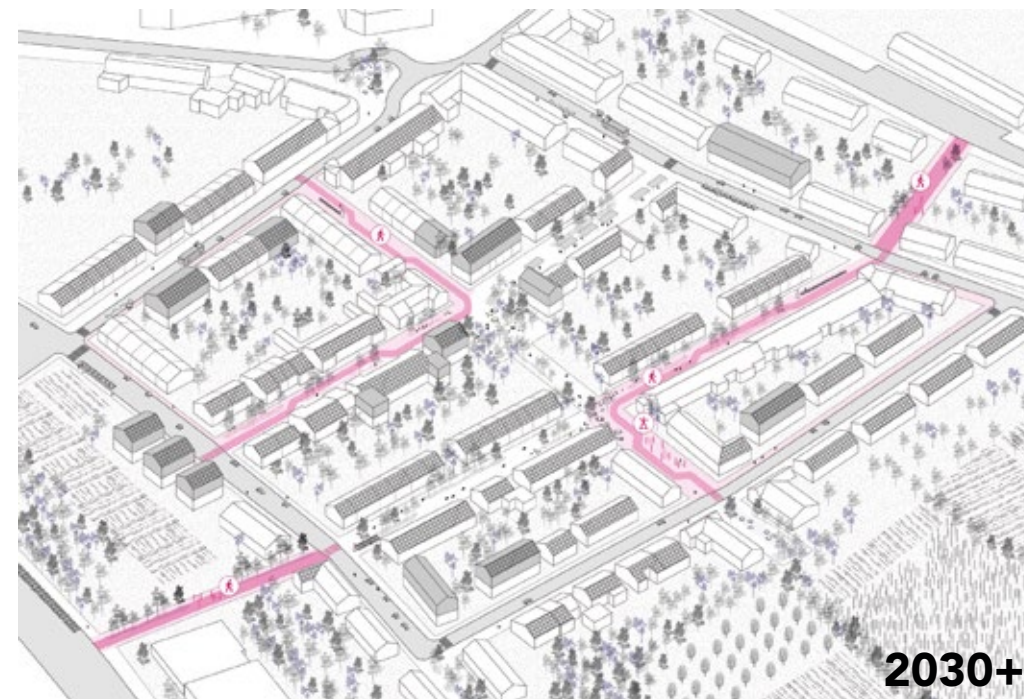


LA GRANDE RÉNOVATION

Entre 2023 et 2030, la réduction de la dépendance à l'automobile permet de progressivement diminuer le besoin de stationnement sur le quartier, et de **pérenniser les aménagements temporaires réalisés en 2022**. Les rues piétonnisées sont équipées de jeux d'enfants et largement plantées afin de réduire de plusieurs degrés la température au sol lors de futures canicules. **Tout le monde se croise sur la nouvelle place centrale, et la vie de quartier s'en trouve dynamisée.**

Grâce aux dispositifs incitatifs mis en place par le Grand-Duché, **l'ensemble du patrimoine bâti est rénové thermiquement et énergétiquement en moins de dix ans, et des panneaux solaires sont installés** sur les toitures bénéficiant d'une bonne exposition, réduisant sensiblement l'empreinte carbone annuelle de ses habitants, tout en adoucissant de manière significative leur facture énergétique.

Certaines maisons font également l'objet d'extensions ou de surélévations afin de diviser en plusieurs logements des habitations devenues trop grandes pour leurs occupants, à la suite du départ d'enfants ou de séparations. **De petits équipements de proximité sont aussi créés** pour répondre à la plupart des besoins du quotidien (commerces, maison médicale, coworking, bricothèque...).



VERS LA RÉSILIENCE ET LE ZÉRO CARBONE

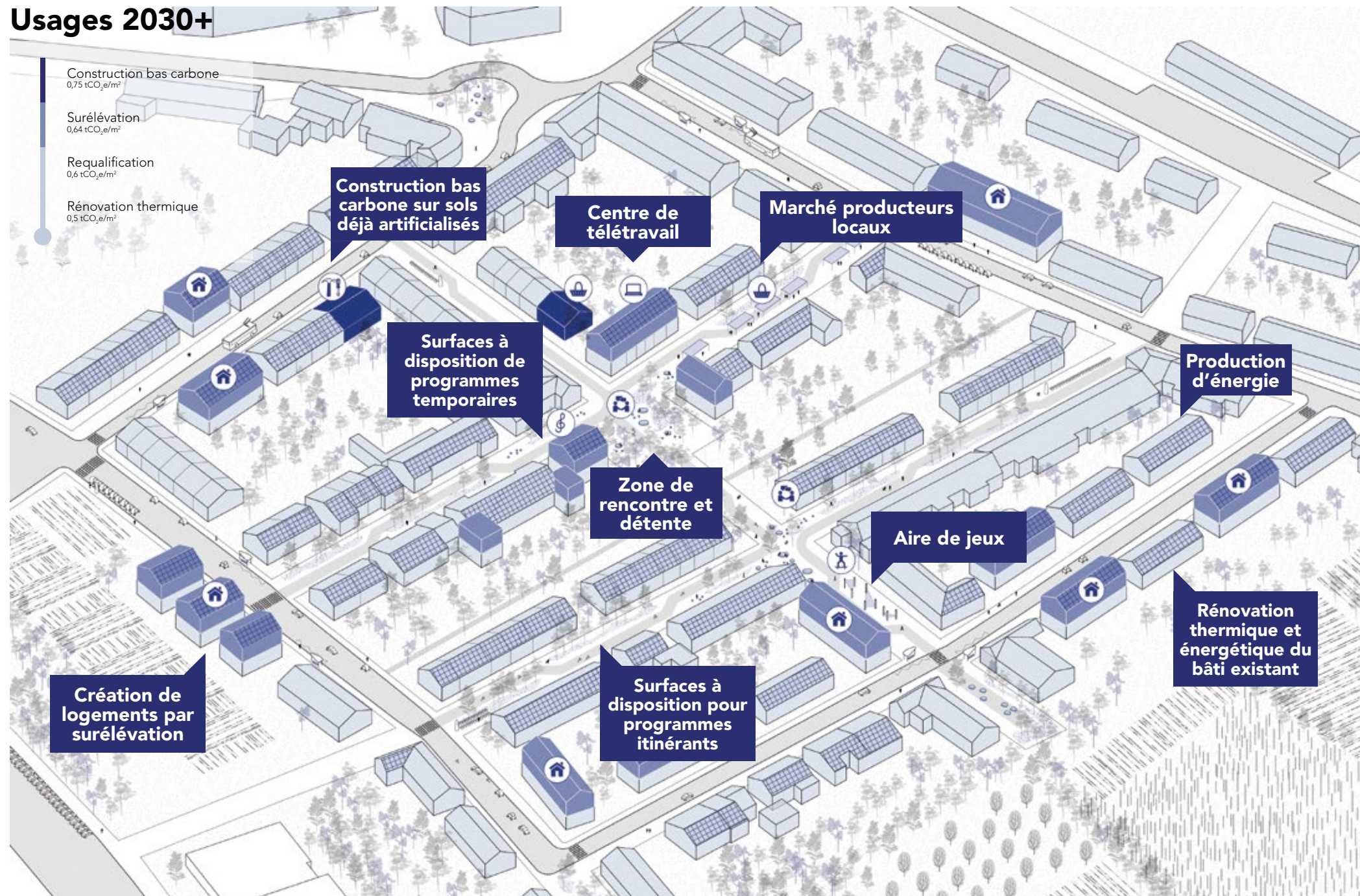
À partir de 2030, l'empreinte carbone du quartier est fortement réduite. **L'adhésion des habitants au projet de transformation de leur quartier a permis de presque totalement décarboner leurs mobilités quotidiennes.** Moins dépendants de l'automobile pour tous les trajets du quotidien - plus faciles et plus rapides à réaliser en bus ou à vélo - la plupart des habitants ont choisi de ne plus posséder de voiture. La mutualisation d'une flotte de véhicules partagés pour les trajets occasionnels a, en outre, facilité le partage du coût de leur électrification, et largement diminué les frais d'entretien. **Cette évolution a, par ailleurs, permis de piétonniser les deux dernières rues ouvertes aux automobiles de l'îlot.** Le silence apporté aux habitants par cette évolution est spectaculaire, et pour tout dire assez inattendu.

Ne consommant plus d'énergies fossiles ni pour sa mobilité ni pour son chauffage, le quartier résidentiel de Gasperich n'a que très faiblement été impacté par le choc pétrolier et gazier de 2027. La plantation des rues a également permis de rendre beaucoup plus supportable la grande canicule de 2032, et de réduire la gravité des inondations de l'hiver 2034.

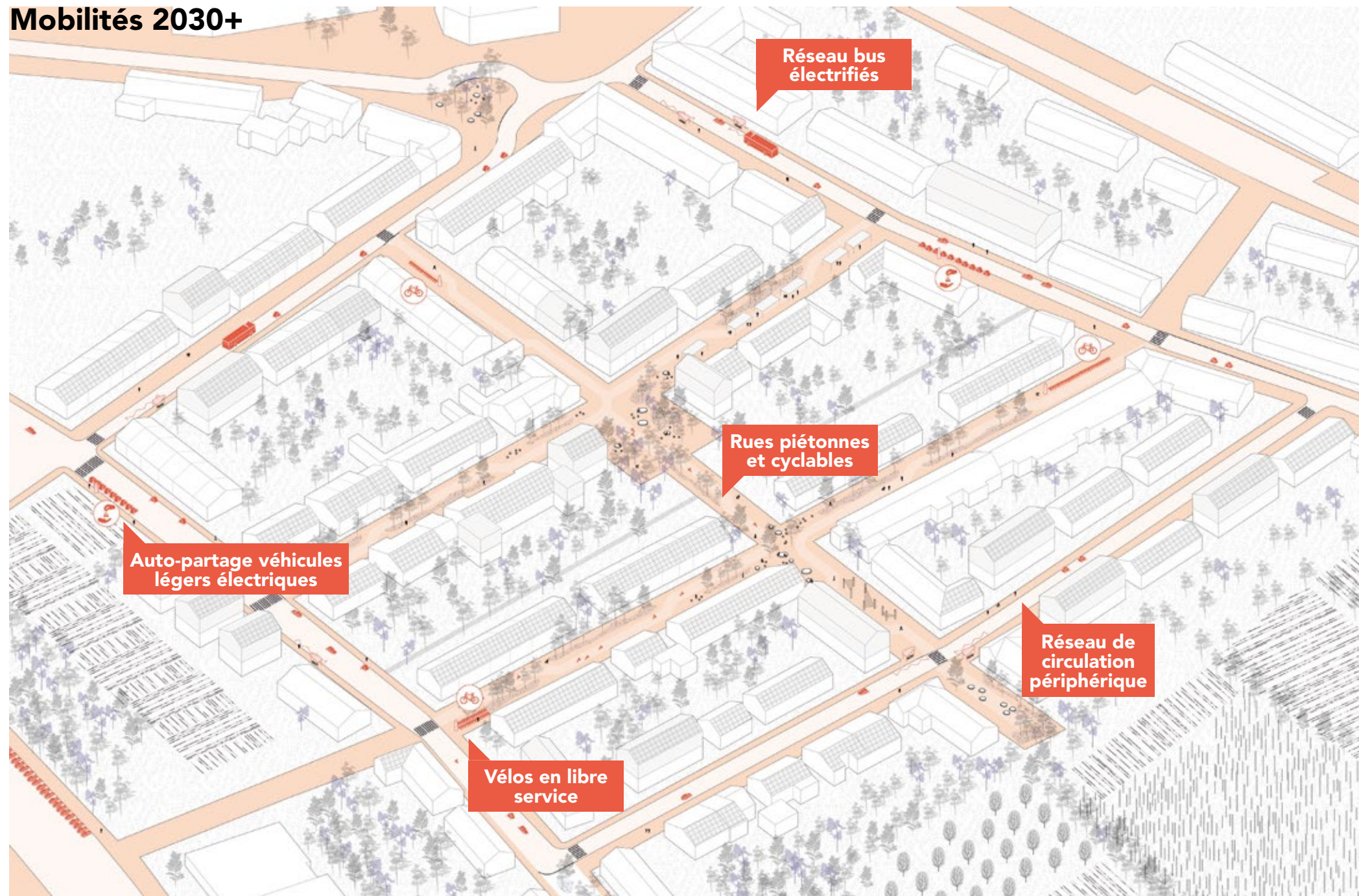
Végétation 2030+



Usages 2030+



Mobilités 2030+



Distribution de l’empreinte carbone à Gasperich

Nous pouvons estimer l’empreinte carbone des habitants de Gasperich à partir des caractéristiques du quartier (logements individuels, situés à Luxembourg-Ville), de la population du Luxembourg (âges, types et tailles des ménages, activités professionnelles) et plus spécifiquement de celle de Luxembourg-Ville (du point de vue du revenu disponible, notamment).

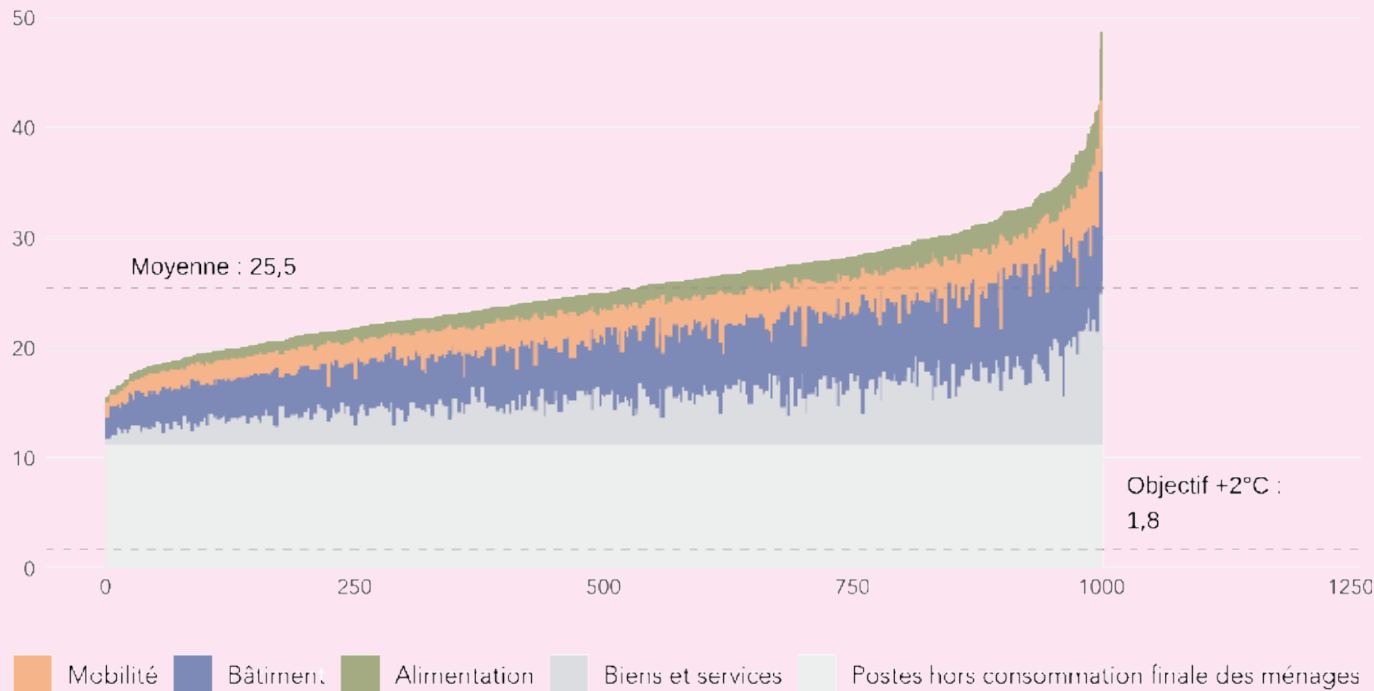
Elle serait de 25,5 tCO₂e/pers./an en 2020, soit bien plus que la moyenne de la région fonctionnelle de 16,1 tCO₂e/pers./an, avec des postes hors consommation finale des ménages qui pèsent près de 44 % de cette empreinte, suivie du logement (22 %), de la consommation de biens et services (18 %), de la mobilité (10 %) puis de l’alimentation (6 %).

Derrière cette moyenne, les habitants ont des caractéristiques bien différentes et donc des empreintes carbone qui varient également : si l’on se concentre sur les postes de consommation finale des ménages, sur lesquels ils ont plus de possibilités d’agir, les 10 % de personnes avec l’empreinte carbone la plus faible émettaient moins de 8,3 tCO₂e/pers./an, quand les 10 % de personnes avec la plus grande empreinte carbone émettaient plus de 21,2 tCO₂e/pers./an, soit environ 2,6 fois plus.

Parmi les premières, nous retrouvons essentiellement des personnes plutôt jeunes (33 ans d’âge moyen), souvent des travailleurs manuels ou des chômeurs (à 77 %). Elles vivent souvent dans des familles avec deux ou trois enfants (à 79 %) et donc dans des ménages plus grands que la moyenne (4,2 personnes), mais disposant de moins de surface par personne que la moyenne (38 m²/personne). Leur empreinte carbone pour les postes de consommation finale des ménages est constituée d’émissions pour le logement (3,2 tCO₂e/pers./an, soit 44 %, dont 28 % pour l’énergie et 7 % pour la construction), pour les biens et services divers (1,8 tCO₂e/pers./an, soit 25 %), pour la mobilité (1,4 tCO₂e/pers./an, soit 20 %,

2020

En tCO₂e/pers./an, pour un échantillon de 1 000 personnes représentatif de la population du quartier.



Distribution de l’empreinte carbone à Gasperich

dont 8 % pour l’avion, 8 % pour l’usage de la voiture et 5 % pour leur fabrication) et enfin l’alimentation (0,8 tCO₂e/pers./an, soit 11 %).

Le second groupe regroupe à l’inverse des personnes plus âgées (52 ans en moyenne), exerçant des activités de cadres dirigeants, de professions intellectuelles, ou étant à la retraite (à 77 %). Elles vivent en couple avec un ou aucun enfant, dans des ménages de taille moyenne (2,5 personnes) mais avec plus de surface par personne que la moyenne (78 m²/personne). Leur empreinte carbone pour les postes de consommation finale des ménages serait constituée d’émissions pour le logement (8,9 tCO₂e/pers./an, soit 35 %, dont 20 % pour l’énergie et 4 % pour la construction), pour les biens et services divers (8,7 tCO₂e/pers./an, soit 35 %), pour la mobilité (4,4 tCO₂e/pers./an, soit 18 %, dont 7 % pour l’avion, 6 % pour la fabrication des voitures et 3 % pour leur usage) et enfin l’alimentation (3 tCO₂e/pers./an, soit 12 %).

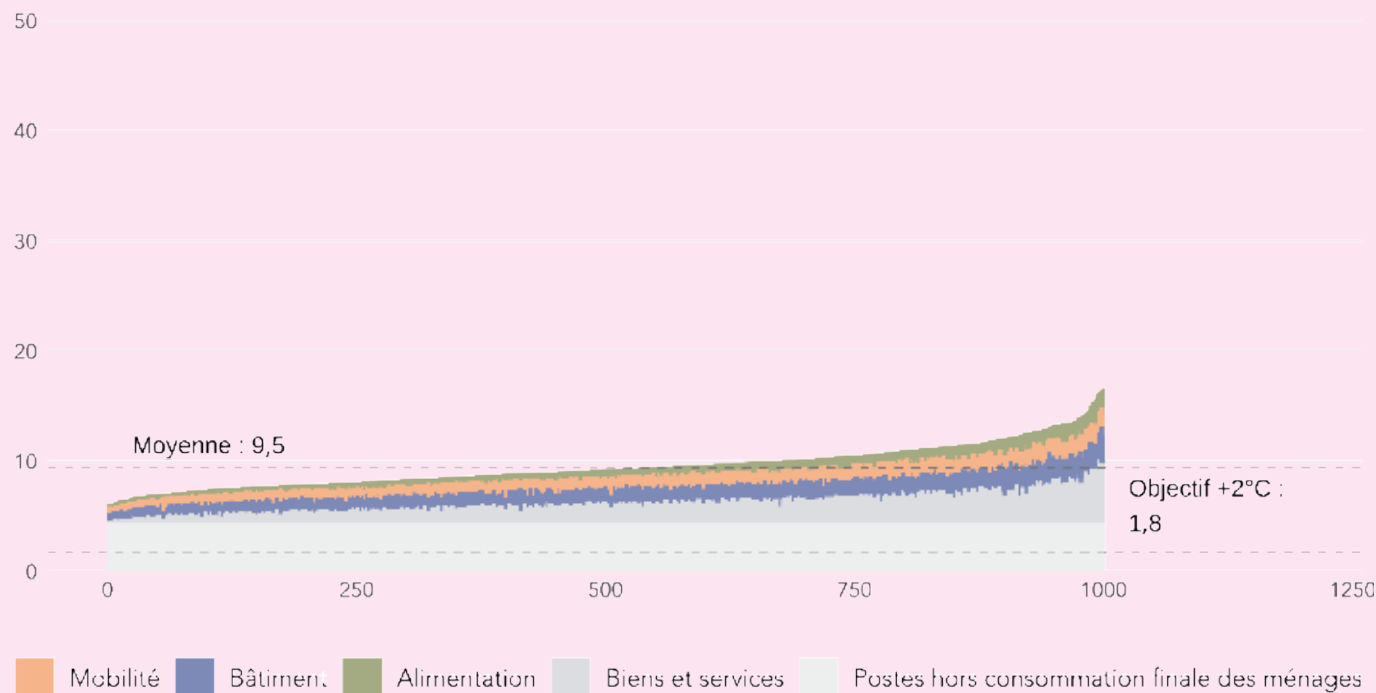
En 2050, l’intégration des leviers d’action du scénario f(lux) permet de diminuer l’empreinte carbone du premier groupe de 65 %, pour atteindre 2,5 tCO₂e/pers./an (sur les postes de consommation finale). Le poste logement serait diminué de 70 %, le poste biens et services de 55 %, le poste mobilité de 65 % et le poste alimentation de 60 %.

La baisse serait de 65 % pour le second groupe, avec une empreinte carbone qui atteindrait 9,6 tCO₂e/pers./an (sur les postes de consommation finale). Le poste logement serait diminué de 75 %, le poste biens et services de 50 %, le poste mobilité de 65 % et le poste alimentation de 50 %.

En moyenne, l’empreinte carbone de l’ensemble de la distribution des habitants du quartier tous postes confondus passerait de 25,5 tCO₂e/pers./an à 9,5 tCO₂e/pers./an, soit une baisse de 73 %.

Scénario f(lux) 2050

En tCO₂e/pers./an, pour un échantillon de 1 000 personnes représentatif de la population du quartier.





Zoom 2

Cloche d'Or

Cloche d'Or

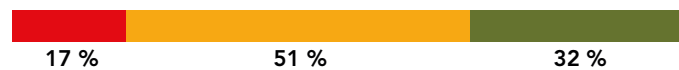
49°34'59."N 6°07'22,0"E

Surface totale : 42 ha

Population : 1 100 habitants

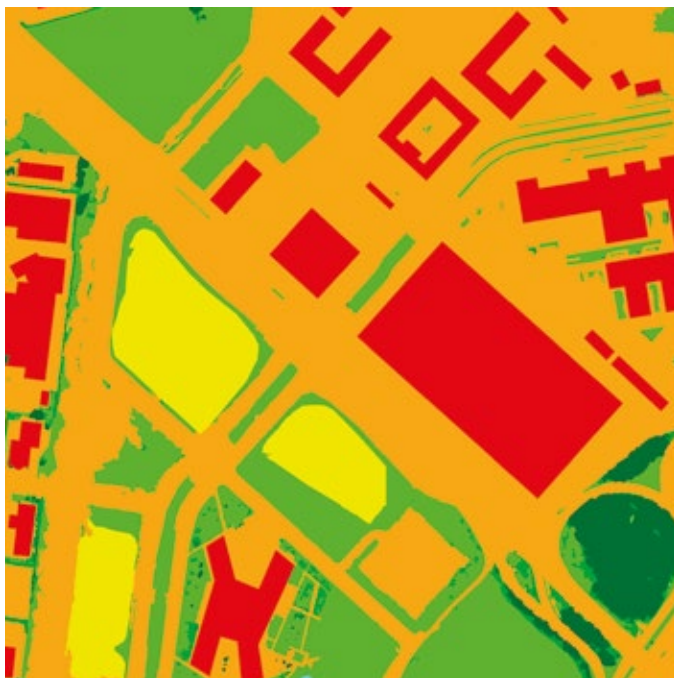
Empreinte carbone 2020 estimée : 23,9 tCO₂e/pers./an

Occupation des sols :



Surface de plancher estimée : 350 000 m²

■ Bâtiments
■ Surfaces imperméabilisées
■ Surfaces perméables



Source : Portail SIG du Grand-Duché du Luxembourg, 2021.



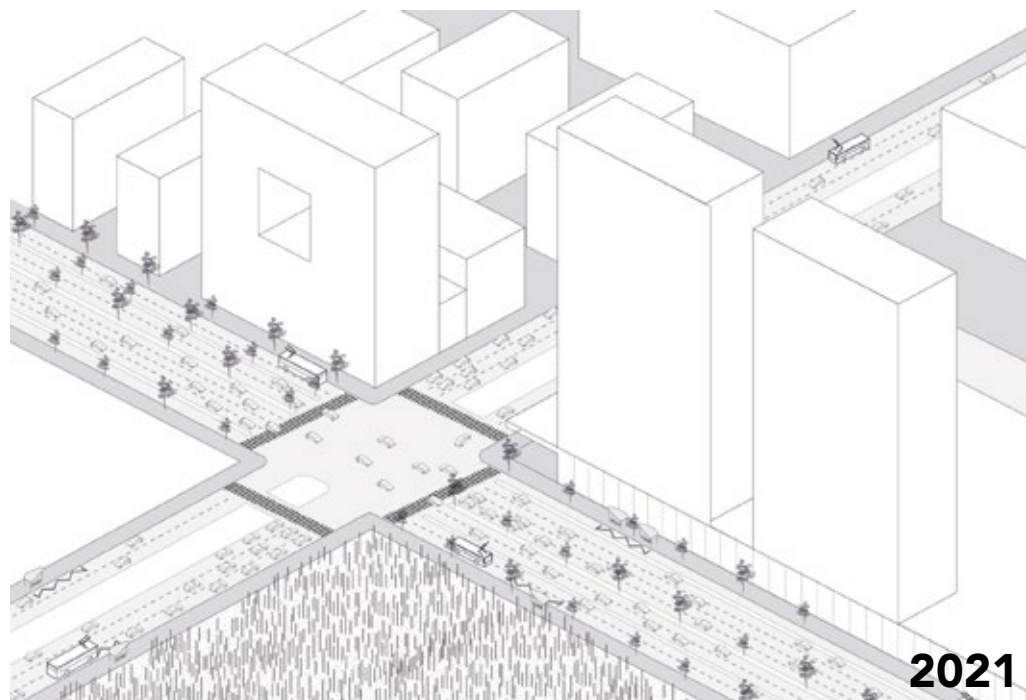
Source : Google Earth, 2021.



Cloche d'Or, octobre 2021.





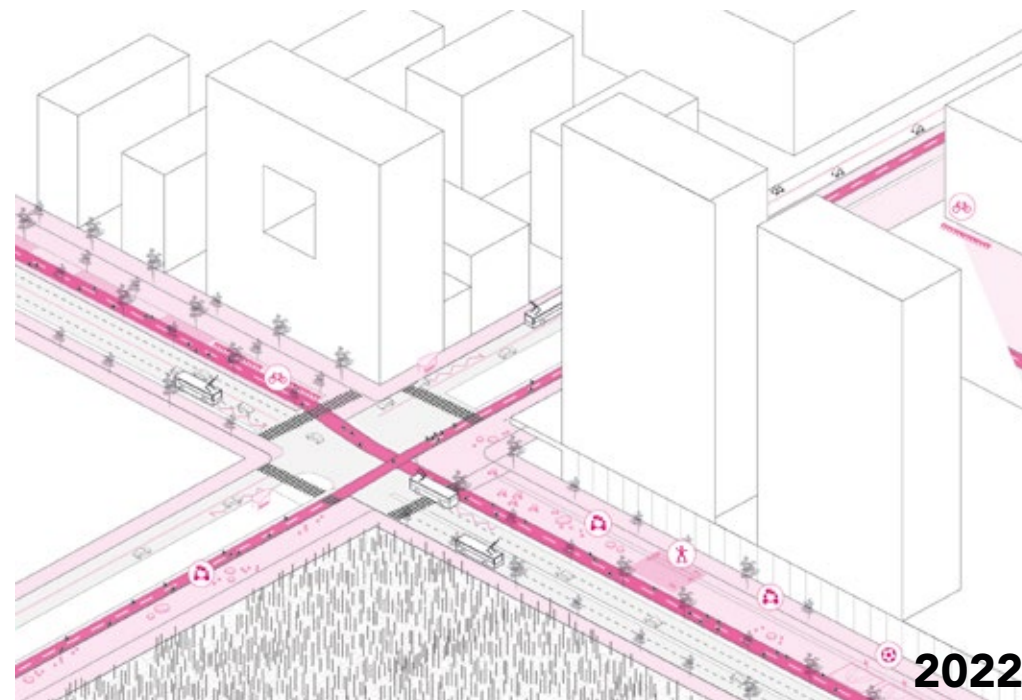


2021

UN QUARTIER DENSE, MIXTE MAIS PENSÉ POUR L'AUTOMOBILE

La Cloche d'Or est un nouveau quartier en cours de construction sur des surfaces agricoles à 3 km au sud du cœur historique de Luxembourg-Ville. Sa programmation relativement mixte (bureaux, logements, commerces, équipements), sa proximité avec le centre de Luxembourg-Ville et sa relative densité pourraient en faire un bon candidat pour tendre vers un fonctionnement de « ville du quart d'heure ». Cependant, **ses espaces publics, largement dédiés à l'automobile, semblent inadaptés pour favoriser des mobilités de vie décarbonées** – le quartier est traversé par deux boulevards d'environ 50 m de large, avec un total huit voies automobiles pour le boulevard Friedrich Wilhelm Raiffeisen. En outre, la non-affectation de la plupart des rez-de-chaussée (les commerces étant majoritairement concentrés en étages dans le centre commercial de la Cloche d'Or), ainsi que le gabarit très large des îlots, n'incite pas à la pratique de la marche ou du vélo, de même que le bruit de la circulation et le vent, amplifiés par la forme urbaine choisie et la dimension des voiries.

La programmation des tours de bureaux pourrait se voir réinterrogée au regard du développement actuel du télétravail, et de l'aspiration à un rééquilibrage des activités économiques de part et d'autre des frontières luxembourgeoises. Enfin, **la résilience du modèle économique du centre commercial pose question dans un monde où l'empreinte carbone de la consommation devra inévitablement être très fortement réduite pour tendre vers la neutralité.**

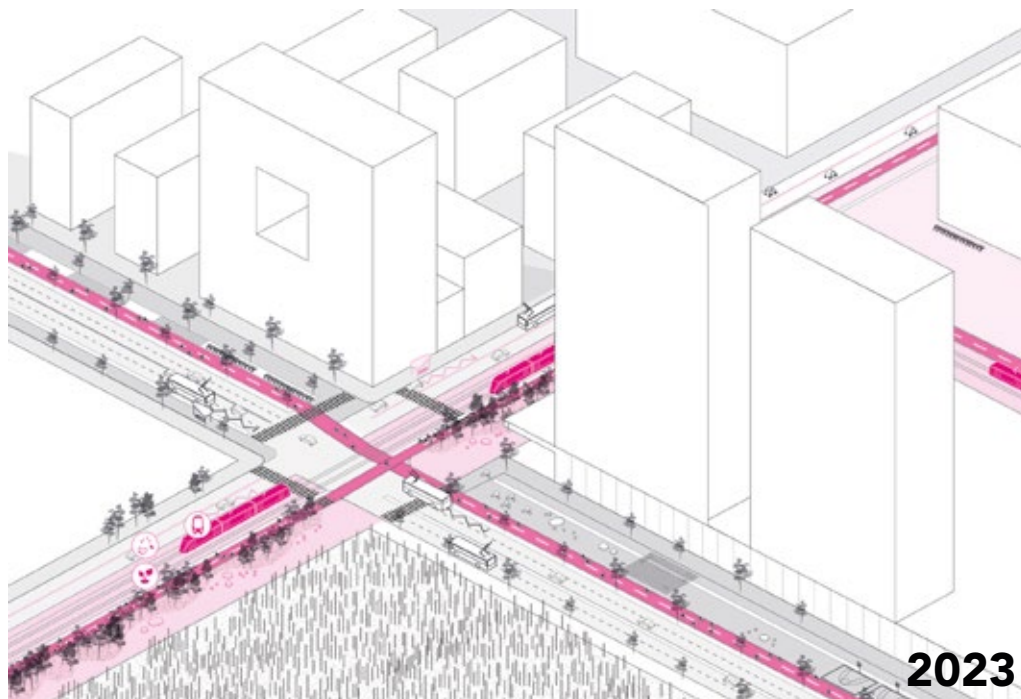


2022

RÉAFFECTATION TACTIQUE DES VOIRIES AU PROFIT DES MOBILITÉS DOUCES

Dès 2022, 50 % des voies automobiles sont réaffectées aux mobilités décarbonées et aux usages de proximité grâce à des aménagements temporaires. De larges pistes cyclables sont créées sur les chaussées existantes, et les carrefours sont sécurisés pour les vélos. **Des équipements de mobilité partagée** sont aussi installés dès 2022 pour accélérer l'évolution des usages au profit de déplacements multimodaux décarbonés (station de micro-automobiles électriques en auto-partage, station de vélos en libre-service...).

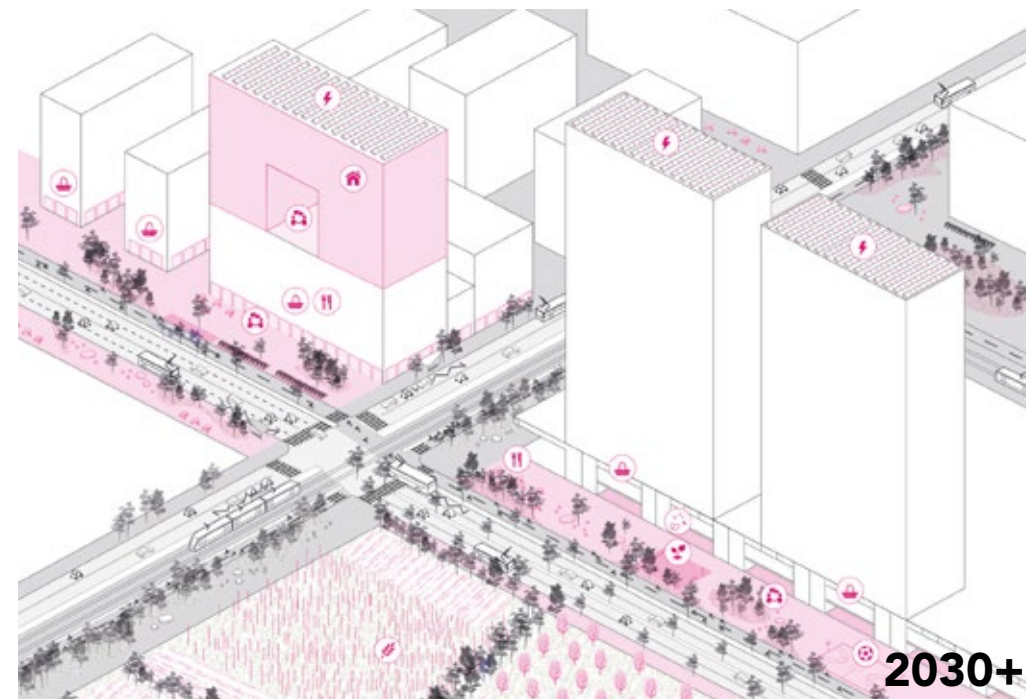
Une partie des chaussées est également réinvestie pour y installer des usages de proximité manquant actuellement, en associant les habitants du quartier à leur programmation : petits terrains de sport démontables, terrasses de café, végétalisation, etc.



ARRIVÉE DU TRAMWAY ET PÉRÉNNISATION DES AMÉNAGEMENTS TACTIQUES

À partir de 2023, la mise en service du tramway permet de pérenniser les aménagements tactiques réalisés en 2022, et de conforter la bascule des mobilités du quartier vers un mix modal décarboné (mobilités actives, tramway, bus électriques). La liaison directe du T1 avec la gare centrale de Luxembourg-Ville (environ 7 minutes) facilite également le report modal de transfrontaliers travaillant dans le quartier vers le train pour leurs déplacements du quotidien. Le déplaçonnement du nombre de jours télétravaillés décidé à l'échelle nationale facilite aussi cette bascule pour les jours en présentiel.

Le boulevard Friedrich Wilhelm Raiffeisen est réaménagé de façon pérenne pour accueillir une voie de circulation banalisée par sens de circulation, une voie dédiée aux bus électrifiés dans chaque sens, une piste cyclable double sens, ainsi qu'un large mail piéton accueillant de nombreuses aménités de proximité (terrains de sport, marché de producteurs locaux deux fois par semaine, etc.).



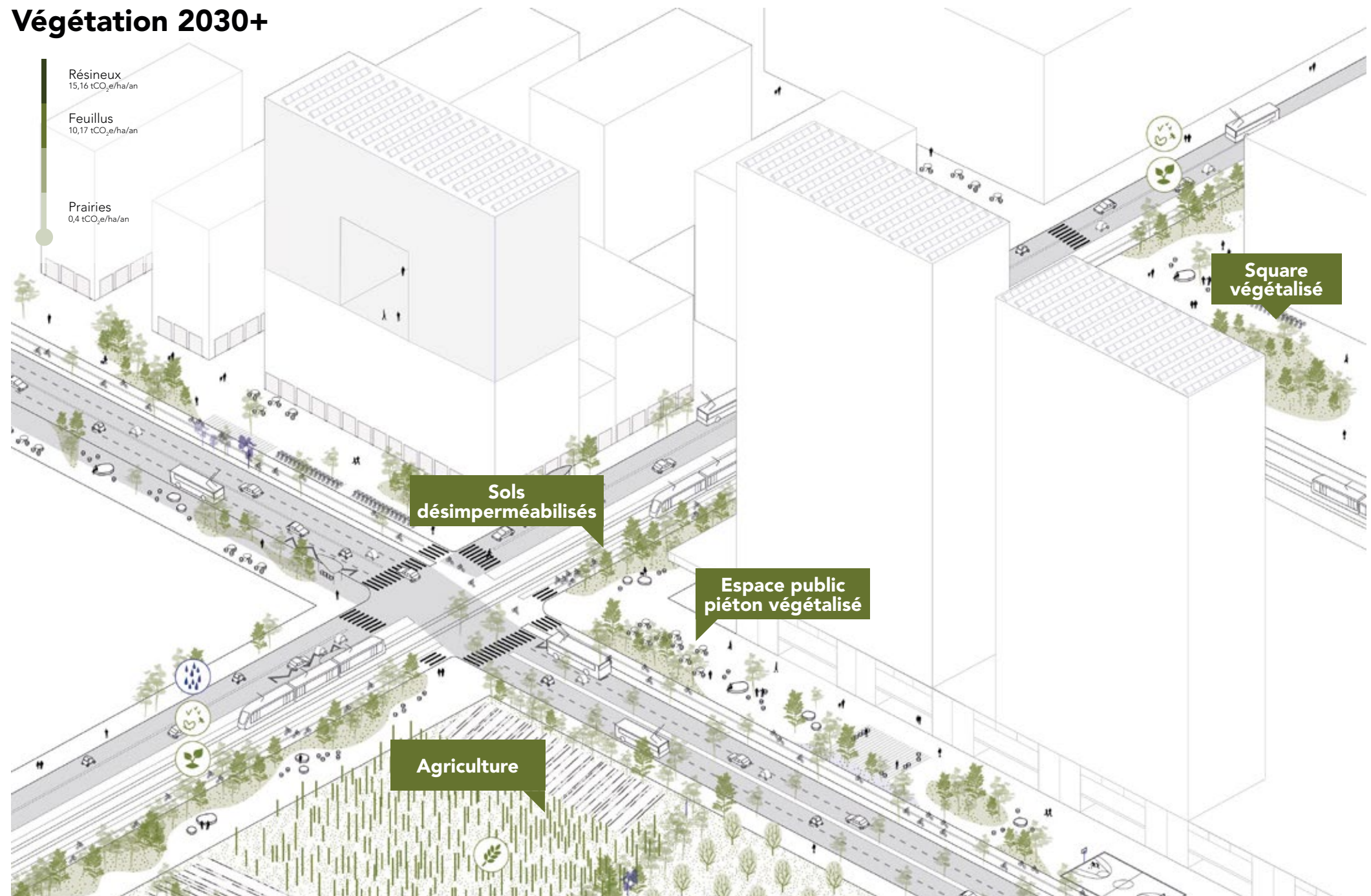
ÉVOLUTION DES PROGRAMMES AU SERVICE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

Au-delà de 2030, une partie des tours de bureaux est reconvertie en logements afin d'accompagner l'essor du télétravail et de contribuer à rééquilibrer la répartition de logements et d'emplois entre le Luxembourg et ses régions frontalières. Cette évolution des programmes pour répondre à la demande de logements permet, en outre, de préserver les terres agricoles du site, qui évoluent au profit d'une production locale en agroécologie. Elle permet également au quartier de traverser sans trop de dommages la grande crise de l'immobilier de bureaux des années 2035.

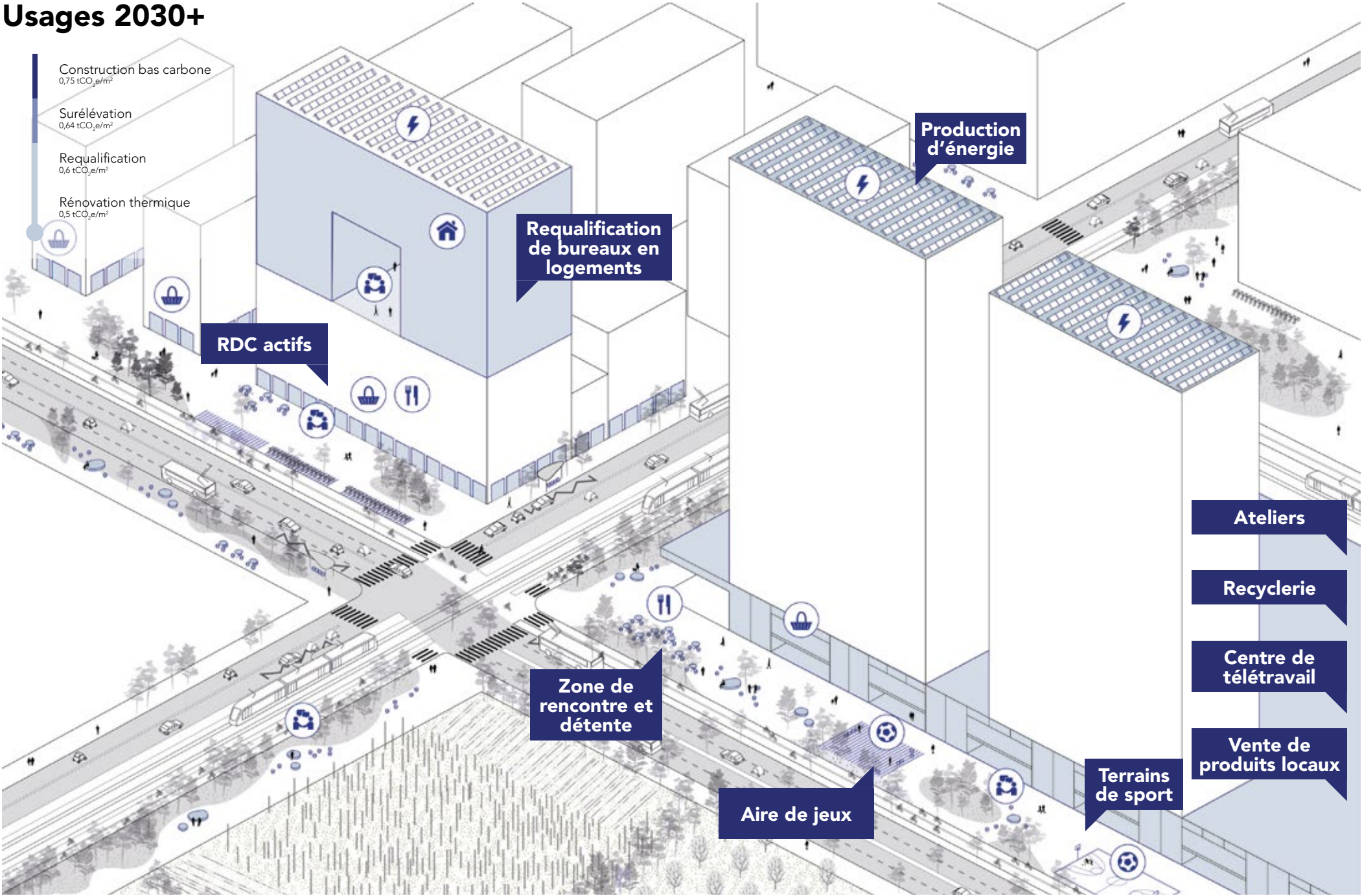
Le centre commercial de la Cloche d'Or, voyant son activité très fragilisée par l'évolution des modes de consommation, se réoriente vers la valorisation et la transformation de ressources locales. D'un modèle tourné vers la consommation linéaire (extraction de ressources naturelles > transformation > consommation > déchets), il se réoriente pour devenir un hub de consommation circulaire (réparation et revalorisation d'objets d'occasion, réemploi de matériaux, ateliers de formation à la réparation et au do-it-yourself, etc.).

Le lycée Vauban, voisin du centre de la Cloche d'Or, se spécialise quant à lui dans la formation à la transition, afin d'accompagner la grande transformation du marché de l'emploi induite par la stratégie de décarbonation du Grand-Duché.

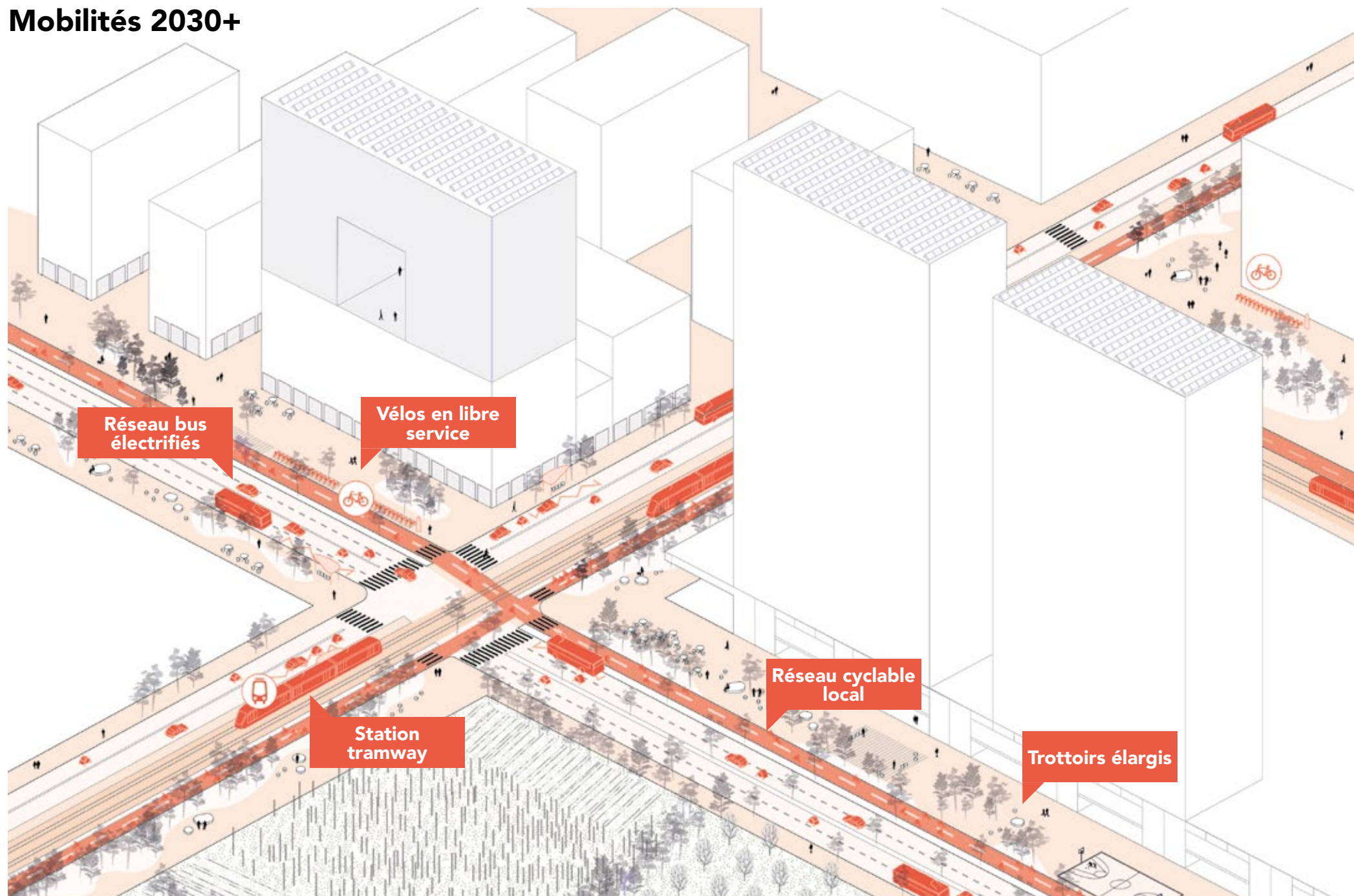
Végétation 2030+



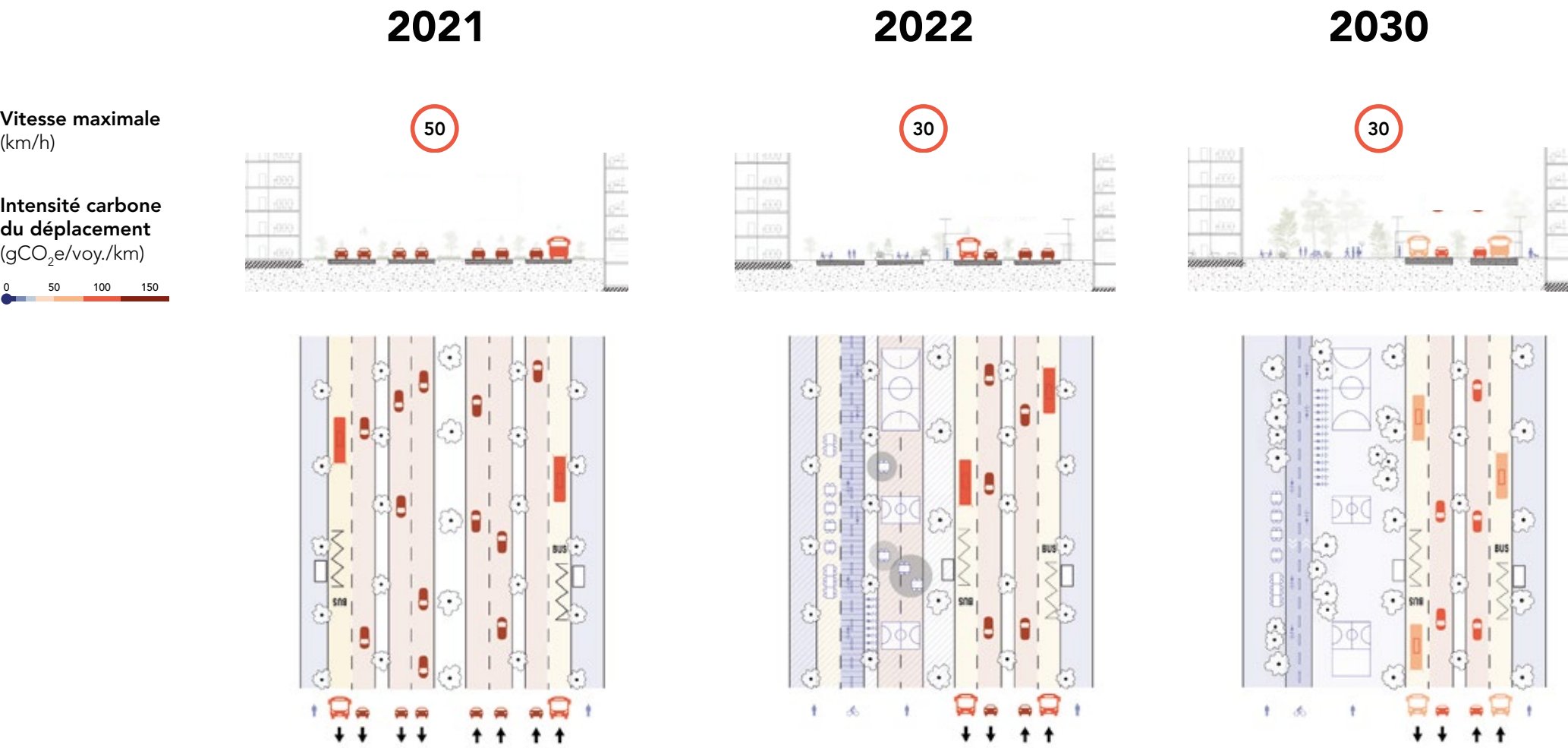
Usages 2030+



Mobilités 2030+



Évolution du profil du boulevard Friedrich Wilhelm Raiffeisen



Distribution de l’empreinte carbone à la Cloche d’Or

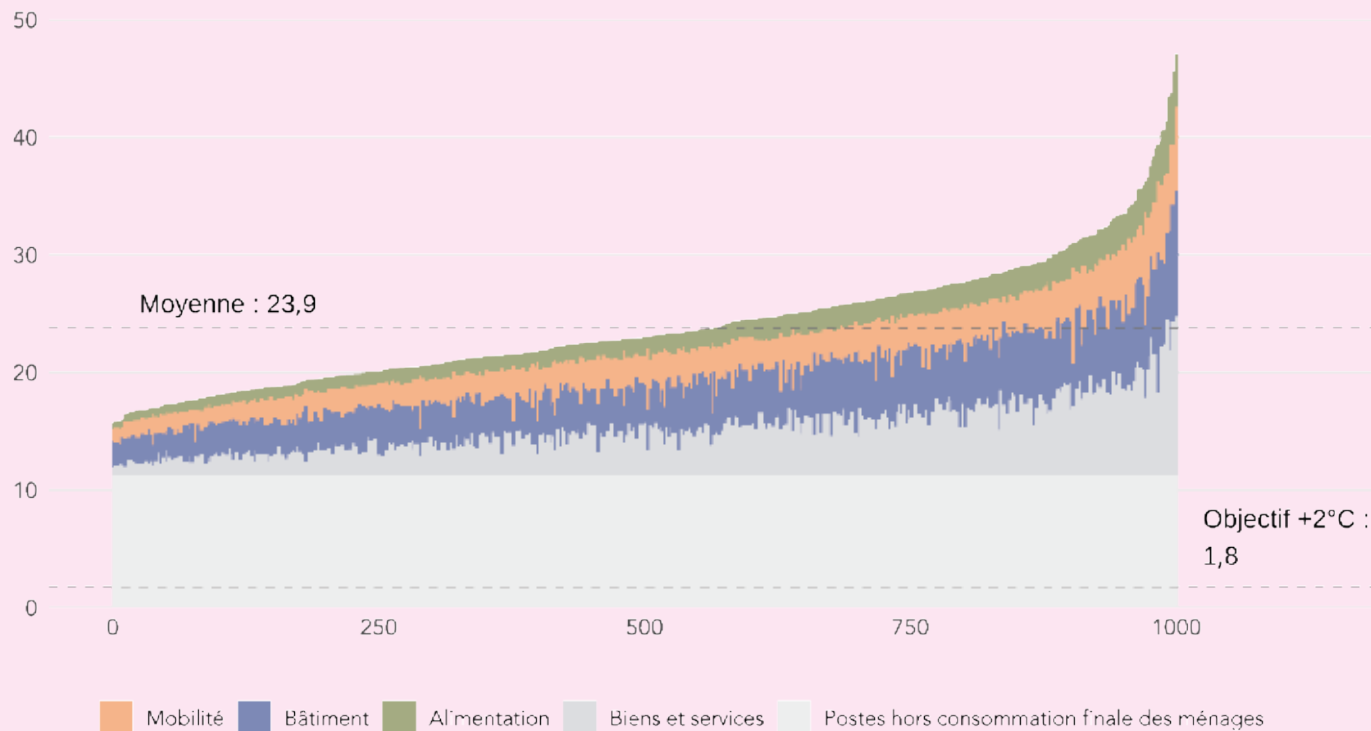
Comme pour le quartier de Gasperich, nous pouvons estimer l’empreinte carbone des habitants de la Cloche d’Or grâce au modèle construit pour cette étude. Elle serait de 23,9 tCO₂e/pers./an en 2020, toujours plus que la moyenne de la région fonctionnelle de 16,1 tCO₂e/pers./an, mais moins qu’à Gasperich, où elle serait de 25,5 tCO₂e/pers./an. L’empreinte carbone se répartirait entre les postes hors consommation finale des ménages (44 %), suivis de la consommation de biens et services (18 %), puis du logement (17 %), de la mobilité (11 %) et enfin de l’alimentation (7 %).

Derrière cette moyenne, les habitants ont des caractéristiques bien différentes et donc des empreintes carbone qui varient également : si l’on se concentre sur les postes de consommation finale des ménages, sur lesquels ils ont plus de possibilités d’agir, les 10 % de personnes avec l’empreinte carbone la plus faible émettaient moins de 6,7 tCO₂e/pers./an, quand les 10 % de personnes avec la plus grande empreinte carbone émettaient plus de 20,1 tCO₂e/pers./an, soit environ 3 fois plus.

Parmi les premières, nous retrouvons essentiellement des personnes plutôt jeunes (28 ans d’âge moyen), souvent des travailleurs manuels ou des chômeurs (à 73 %). Elles vivent souvent dans des familles avec deux ou trois enfants (à 82 %) et donc dans des ménages plus grands que la moyenne (3,7 personnes), mais disposant de moins de surface par personne que la moyenne (26 m²/personne). Leur empreinte carbone pour les postes de consommation finale des ménages est constituée d’émissions pour le logement (2,2 tCO₂e/pers./an, soit 39 %, dont 24 % pour l’énergie et 8 % pour la construction), pour les biens et services divers (1,4 tCO₂e/pers./an, soit 25 %), pour la mobilité (1,3 tCO₂e/pers./an, soit 23 %, dont 9 % pour l’usage de la voiture et 4 % pour leur fabrication, 7 % pour l’avion) et enfin l’alimentation (0,7 tCO₂e/pers./an, soit 12 %).

Modélisation 2020

En tCO₂e/pers./an, pour un échantillon de 1000 personnes représentatif de la population du quartier.



Distribution de l'empreinte carbone à la Cloche d'Or

Le second groupe regroupe à l'inverse des personnes plus âgées (51 ans en moyenne), exerçant des activités de cadres dirigeants, de professions intellectuelles ou intermédiaires (à 82 %). Elles vivent seules, en couple sans enfants ou en colocation de deux personnes, dans des ménages de petite taille (1,9 personnes) et avec une surface par personne dans la moyenne (52 m²/personne). Leur empreinte carbone pour les postes de consommation finale des ménages serait constituée d'émissions pour les biens et services divers (9,3 tCO₂e/pers./an, soit 38 %), pour le logement (7,1 tCO₂e/pers./an, soit 29 %, dont 13 % pour l'énergie et 4 % pour la construction), pour la mobilité (4,8 tCO₂e/pers./an, soit 20 %, dont 7 % pour l'avion, 6 % pour la fabrication des voitures et 3 % pour leur usage) et enfin l'alimentation (3,2 tCO₂e/pers./an, soit 13 %).

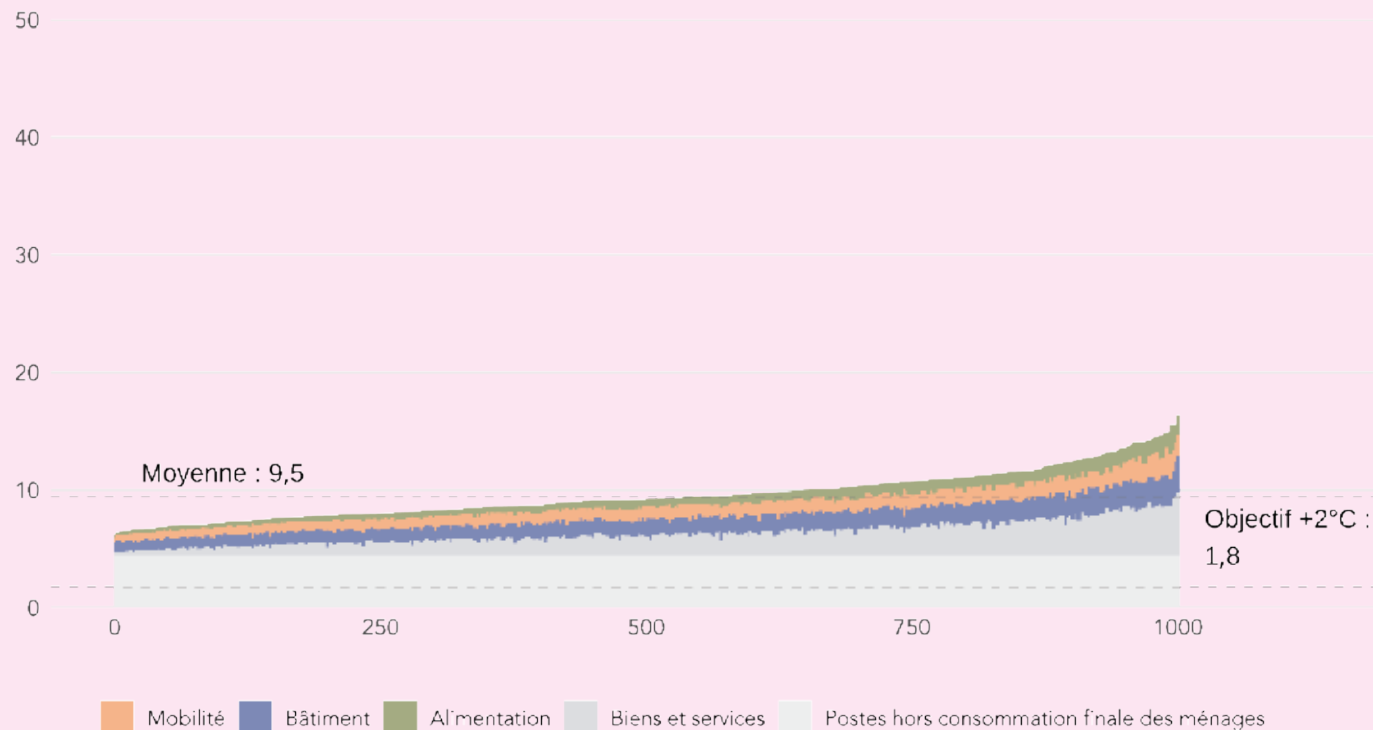
En 2050, l'intégration des leviers d'action du scénario f(lux) permet de diminuer l'empreinte carbone du premier groupe de 60 %, pour atteindre 2,4 tCO₂e/pers./an (sur les postes de consommation finale). Le poste logement serait diminué de 60 %, le poste biens et services de 50 %, le poste mobilité de 65 % et le poste alimentation de 60 %.

La baisse serait de 65 % pour le second groupe, avec une empreinte carbone qui atteindrait 9,6 tCO₂e/pers./an (sur les postes de consommation finale). Le poste logement serait diminué de 70 %, le poste biens et services de 55 %, le poste mobilité de 60 % et le poste alimentation de 60 %.

En moyenne, l'empreinte carbone de l'ensemble de la distribution des habitants du quartier tous postes confondus passerait de 23,9 tCO₂e/pers./an à 9,5 tCO₂e/pers./an, soit une baisse de 70 %.

Scénario f(lux) 2050

En tCO₂e/pers./an, pour un échantillon de 1 000 personnes représentatif de la population du quartier.



Zoom 3

Z.A. Cloche d'Or



Z.A. Cloche d'Or

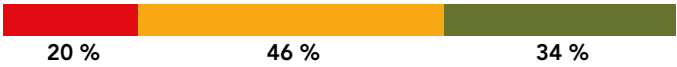
49°34'53."N 6°07'02,0"E

Surface totale : 42 ha

Population : travailleurs uniquement

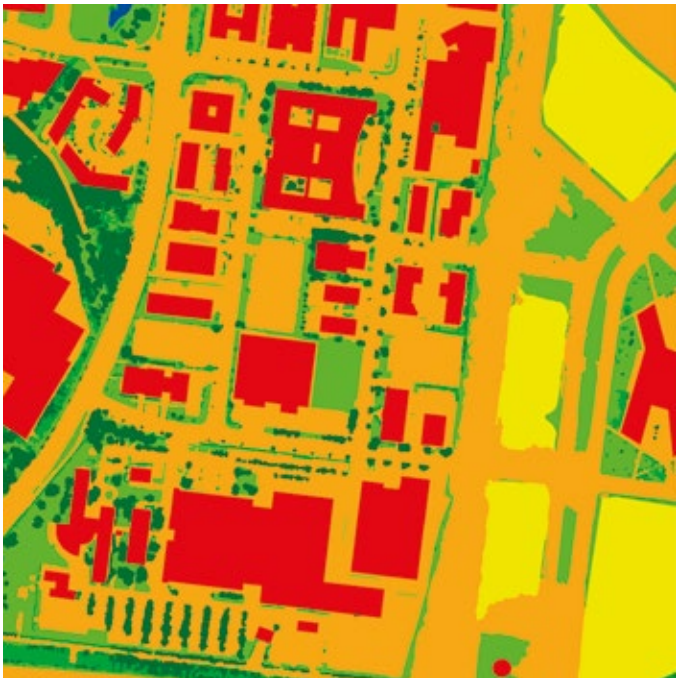
Empreinte carbone 2020 estimée : 24 tCO₂e/pers./an

Occupation des sols :



Surface de plancher estimée : 300 000 m²

■ Bâtiments
■ Surfaces imperméabilisées
■ Surfaces perméables



Source : Portail SIG du Grand-Duché du Luxembourg, 2021.



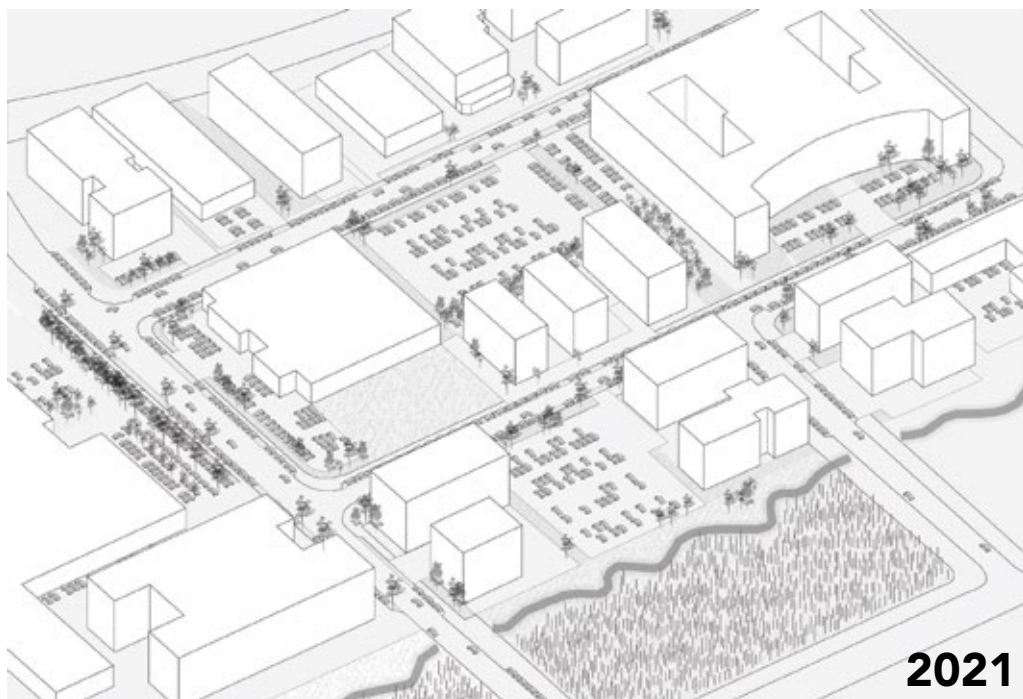
Source : Google Earth, 2021.



Z.A. Cloche d'Or, octobre 2021.







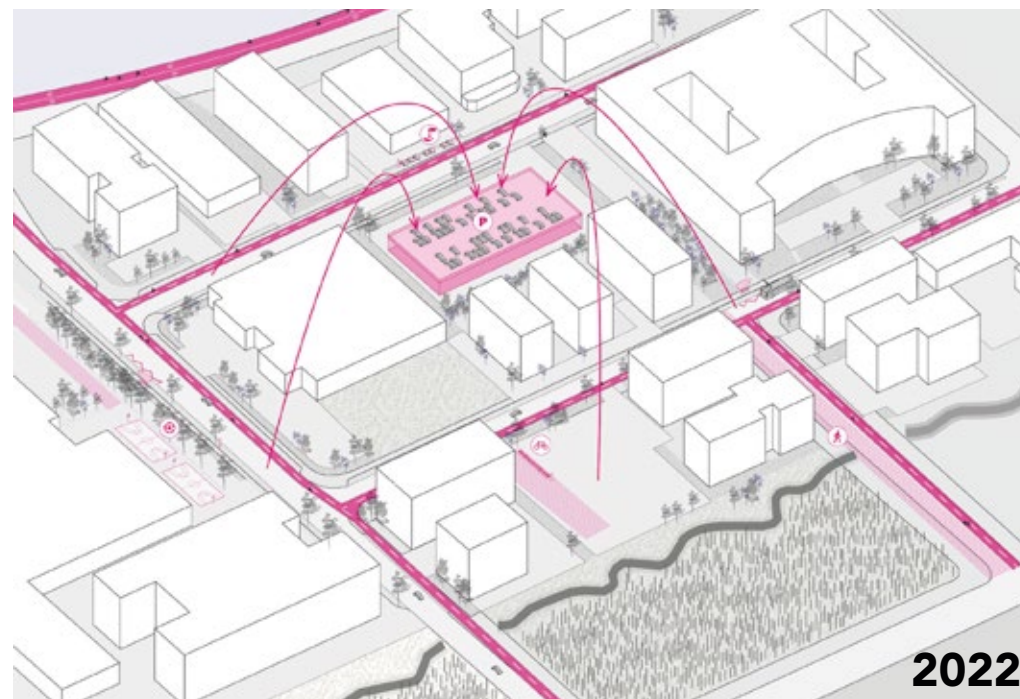
2021

UNE ZONE D'ACTIVITÉS MONOFUNCTIONNELLE, PEU DENSE ET TRÈS DÉPENDANTE DE L'AUTOMOBILE

La zone d'activités de la Cloche d'Or est aujourd'hui un **quartier essentiellement monofonctionnel, peu dense, concentrant environ 7 000 emplois**. Desservi par 4 lignes de bus (5, 20, 22, 24), ses espaces publics sont cependant largement dominés par l'automobile, et très peu praticables en mobilité active. **Les parkings dédiés à chaque entreprise, souvent sous-occupés, y occupent plus de 35 % des surfaces au sol** (les surfaces imperméabilisées et non bâties atteignant même 46 % des sols en comptant les voiries). En outre, la grande dimension des parcelles et la démultiplication des barrières en limite d'emprise complexifient et rallongent les parcours piétons et vélo.

Malgré la présence d'alignements d'arbres le long des principales voiries, **le quartier demeure très minéral et imperméabilisé**, accentuant son exposition aux phénomènes d'îlot de chaleur urbain en situation de canicule, et de ruissellement en cas de fortes pluies.

Enfin, **le quartier ne comprend aucun logement, et très peu de commerces et services** pour les employés de la zone d'activités, renforçant la dépendance des salariés à l'automobile pour leurs déplacements quotidiens.



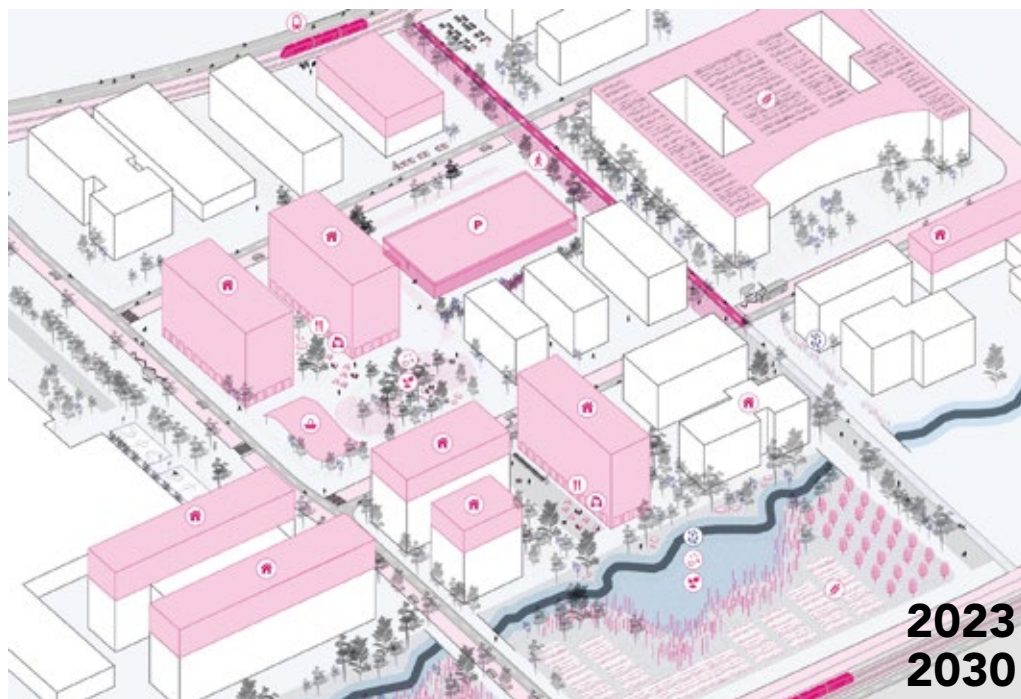
2022

TRANSFORMER LES ESPACES PUBLICS POUR AMORCER LA TRANSITION DES MOBILITÉS

Dès 2022, des actions sont mises en œuvre pour initier la bascule des usages de mobilité. **Le stationnement de surface de l'ensemble des voiries est mutualisé au sein d'un parking central en decking**, démontable et pouvant être déployé très rapidement. Le foisonnement entre tous les parkings sous-occupés permet déjà de réduire de moitié le nombre de places nécessaire à l'ensemble du quartier, à besoin constant.

Ce désencombrement massif de l'espace public permet de retrouver l'espace nécessaire pour y installer des pistes cyclables temporaires, pouvant être créées très rapidement en s'appuyant sur des techniques éprouvées (peinture, plots en plastique...). Les salariés qui le souhaitent peuvent ainsi plus facilement accéder à leur travail à vélo, où s'y rabattre depuis une station de transport en commun. **Des équipements de mobilité partagée** sont également implantés dès 2022 pour accélérer cette évolution des usages (micro-automobiles électriques en auto-partage, station de vélos en libre-service démontable...).

Enfin, de petits équipements de proximité sont créés afin de rendre le quartier plus mixte et de favoriser les déplacements de proximité (terrains de sport en plein air, commerces et services itinérants...).

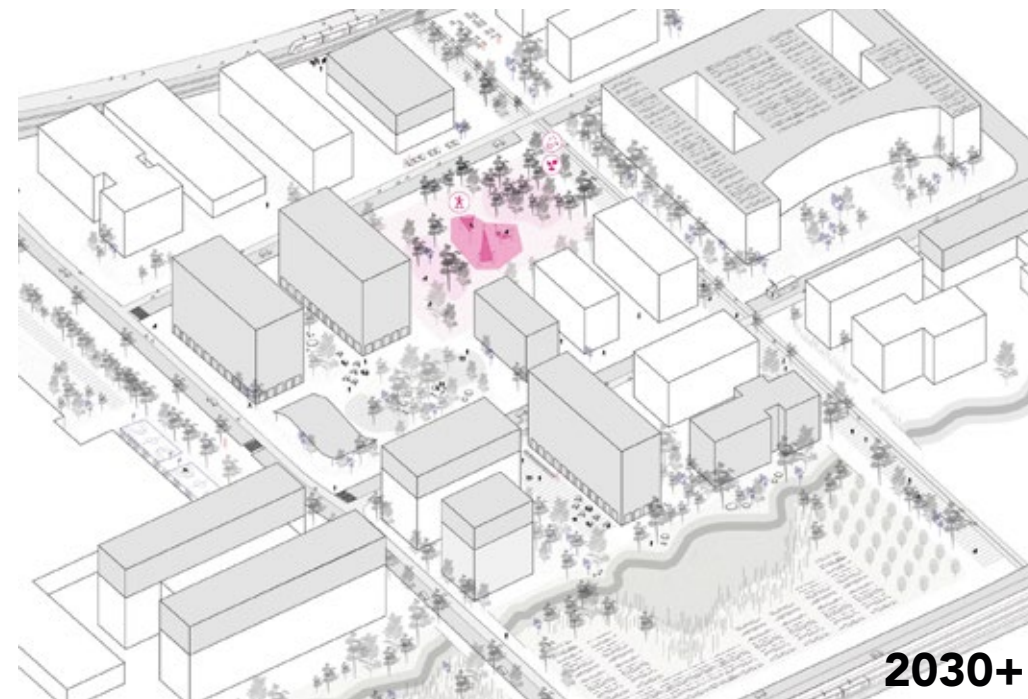


UN QUARTIER PLUS DENSE ET PLUS MIXTE

Dès 2023, le prolongement du tramway T1 vers le Stade de Luxembourg avec la création de la station Waassertuerm permet d'accélérer la mutation de la zone d'activités de la Cloche d'Or et d'y stimuler l'implantation de logements. Les pistes cyclables temporaires sont progressivement pérennisées, et une voie vélo express est créée sur la route d'Esch.

Le foncier aujourd'hui occupé par des parkings privés est progressivement libéré pour accueillir des opérations de densification. Des immeubles de logements bas carbone y sont édifiés en matériaux biosourcés, fournissant un débouché à la production forestière locale tout en séquestrant du carbone directement dans les bâtiments pour en atténuer l'empreinte globale. Des bâtiments existants sont également surélevés en structure légère bois, contribuant à répondre à la fois au fort besoin de logements au Luxembourg et à l'objectif de « zéro artificialisation brute », nécessaire à la préservation du capital de séquestration carbone du Grand-Duché. La mixité urbaine du quartier est aussi accentuée par la création de commerces et services en rez-de-chaussée des nouveaux immeubles, et par la création de nouveaux usages sur les toits-terrasses des immeubles existants.

Le quartier est également largement planté et désimperméabilisé dès 2023 afin de préparer son adaptation au changement climatique, de manière à aboutir à des sujets matures à horizon 2030. Le lit du ruisseau attenant est élargi afin de redonner un espace de bon fonctionnement au cours d'eau et d'étendre le champ d'expansion de la crue, dans une logique de protection des biens et des personnes. Enfin, une deuxième ligne de tramway est créée sur la route d'Esch à horizon 2030, renforçant l'accessibilité du quartier en transports en commun.



UN QUARTIER MOINS ÉMETTEUR ET PLUS RÉSILIENT

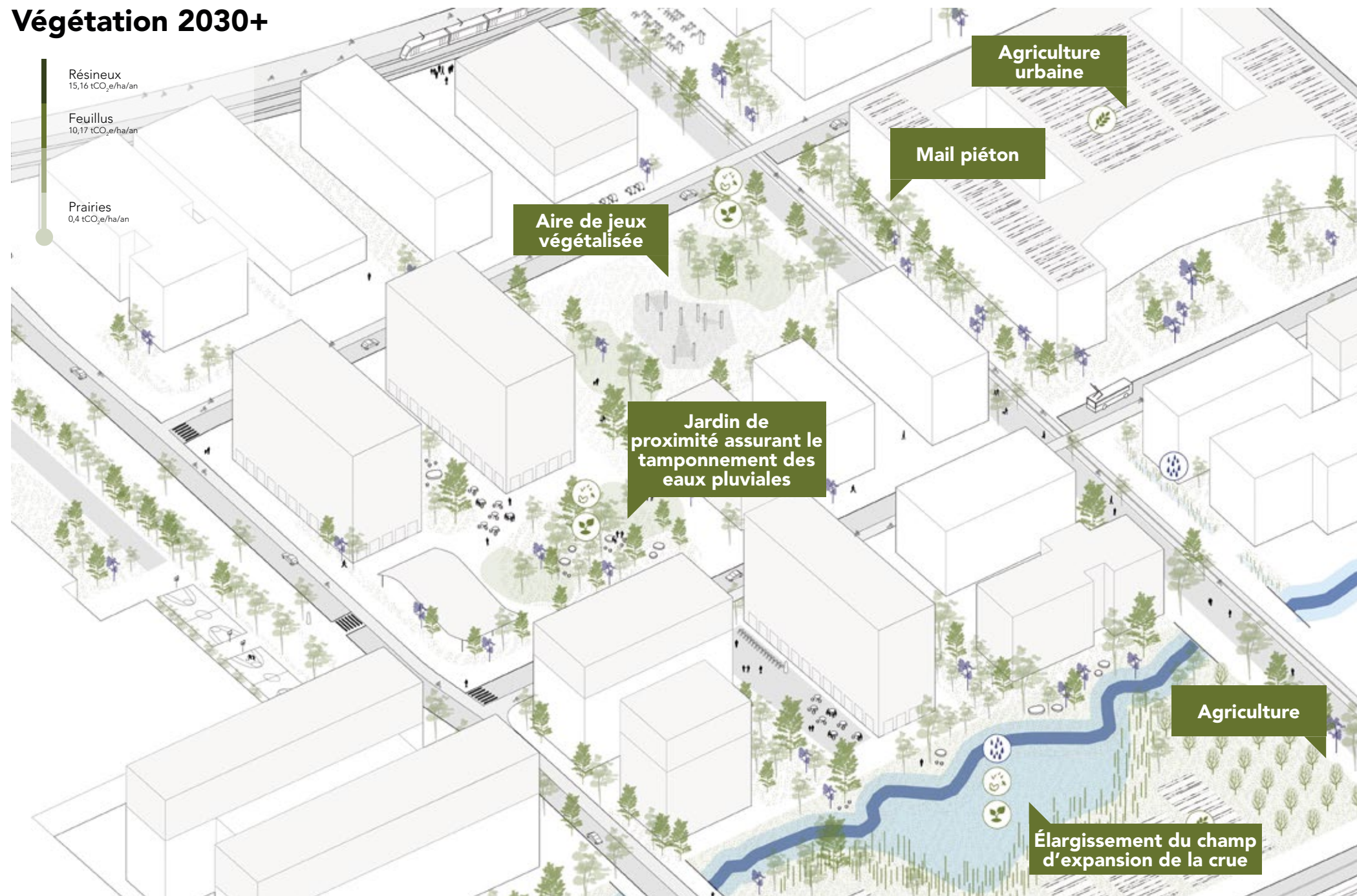
À partir de 2030, le renforcement de l'accessibilité par les transports en commun, la diversification des modes de déplacement et le renforcement de la vie de proximité permettent d'envisager le démontage du parking temporaire et sa transformation en jardin.

La neutralité carbone du quartier est atteinte pour les mobilités du quotidien (hors fabrication et recyclage des véhicules), réduisant fortement sa dépendance aux énergies fossiles.

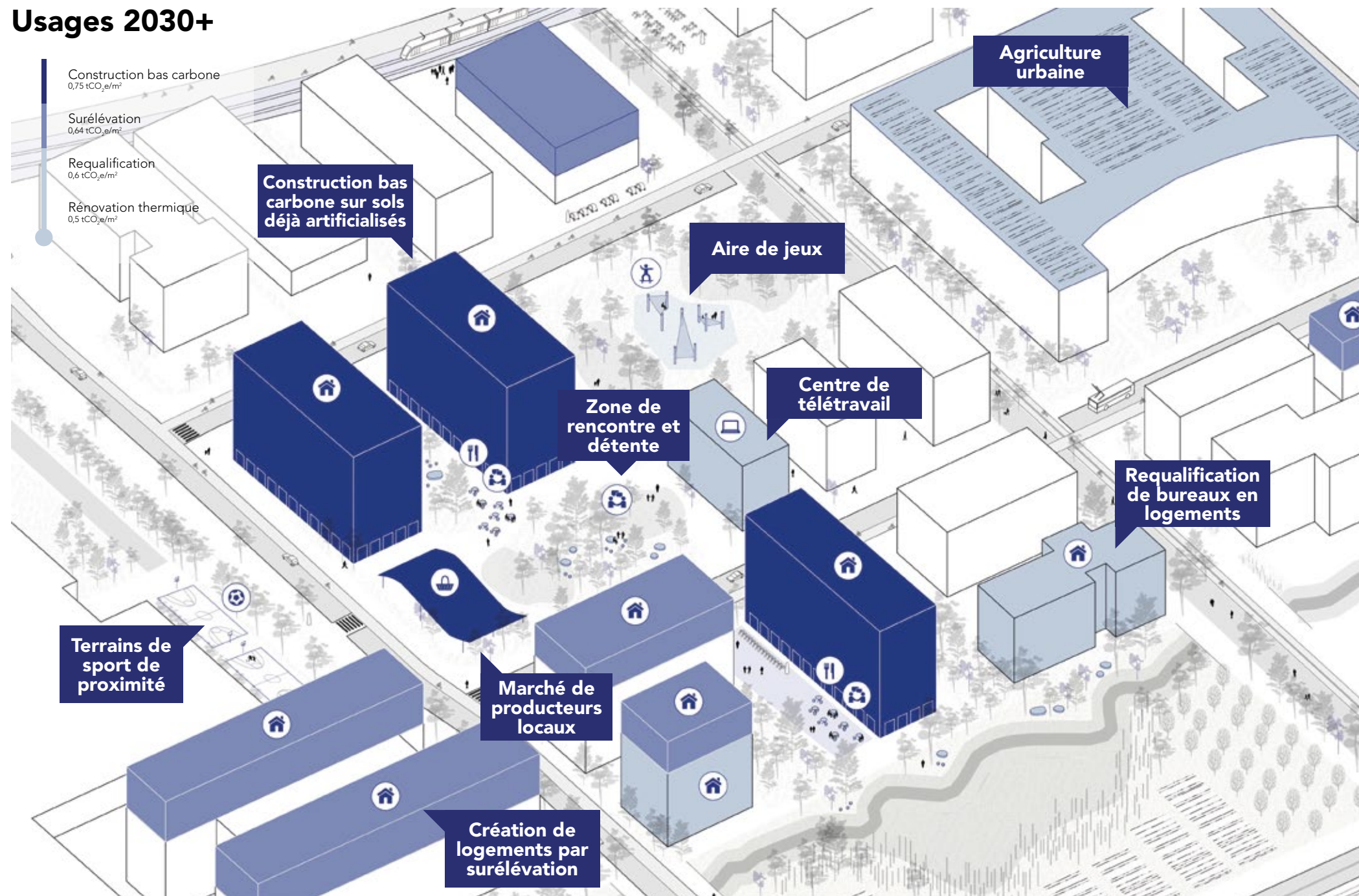
La végétation, plantée dès 2023, est désormais arrivée à maturité. Certains sujets n'ont pas survécu à la canicule de 2032, mais la diversification des essences plantées a permis de limiter les dégâts et de conserver une couverture végétale très appréciable pendant les épisodes de forte chaleur.

La désimperméabilisation des sols et la création d'une zone humide tampon se sont également révélées être des atouts précieux face à la recrudescence d'épisodes de fortes pluies et d'inondations, désormais systématiques chaque hiver.

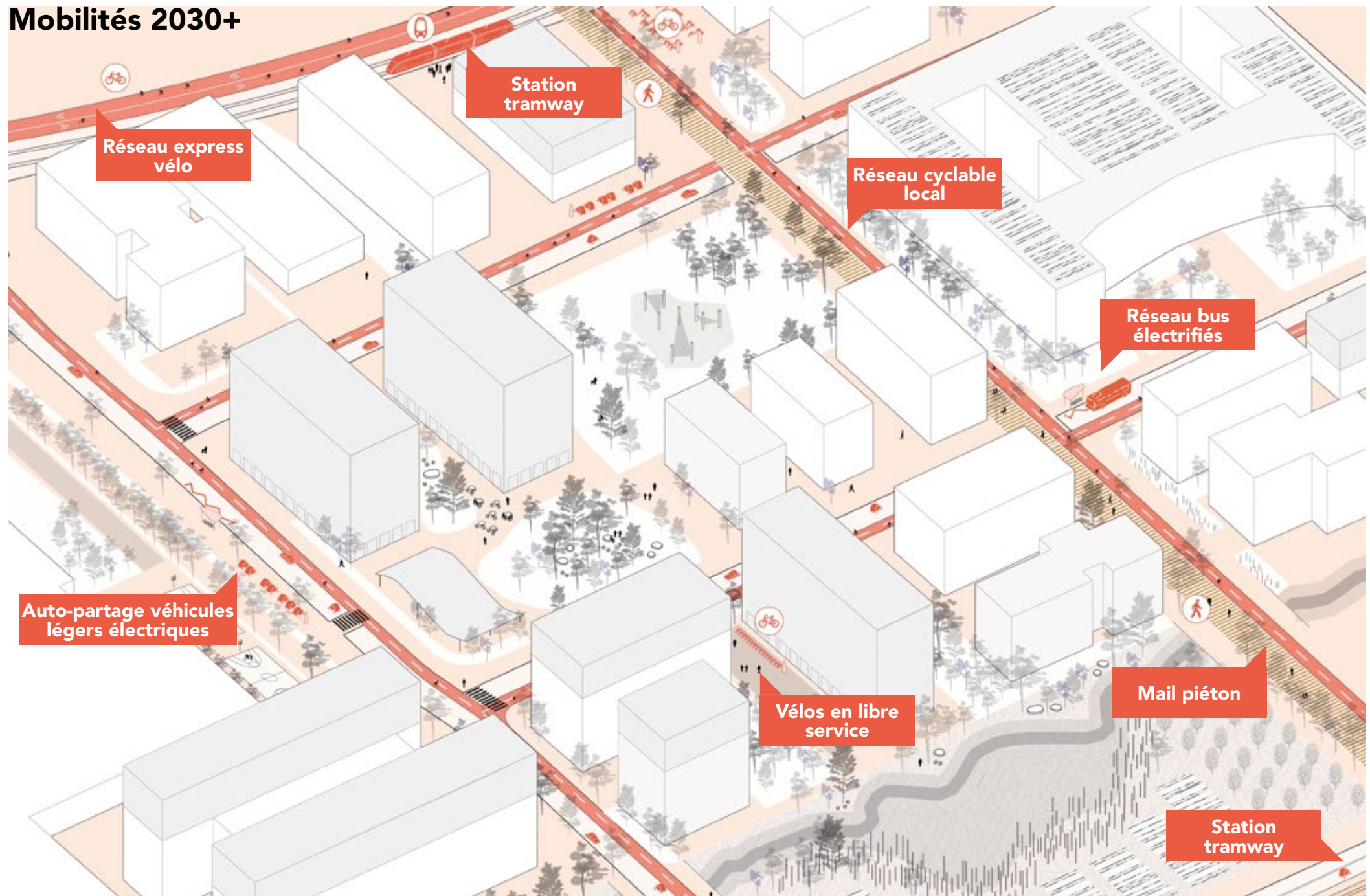
Végétation 2030+



Usages 2030+



Mobilités 2030+



Distribution de l’empreinte carbone à la Z.A. Cloche d’Or

Contrairement aux deux autres sites étudiés, la zone d’activités de la Cloche d’Or ne compte actuellement aucun logement. Impossible, donc, de comparer la distribution de l’empreinte carbone des habitants en 2020 à celle de 2050, dans le scénario f(lux). De plus, la modélisation ne prend pas d’hypothèses assez précises pour distinguer les habitants de la partie est de la Cloche d’Or, autour du centre commercial, de ceux des nouvelles habitations créées sur la zone d’activités : le modèle considère qu’ils ont les mêmes caractéristiques sociodémographiques, le même accès à l’emploi et aux commerces, les mêmes types de logements collectifs...

L’estimation de l’empreinte carbone des habitants dans le scénario f(lux), en 2050, est donc la même que celle présentée en page 117 : 9,5 tCO₂e/pers./an.

Nous pouvons cependant illustrer ici la diversité des sociotypes étudiés en visualisant la composition de l’empreinte carbone de trois personnes tirées des échantillons de population modélisés, en 2020 et 2050, pour un habitant de la Cloche d’Or (partie est ou partie zone d’activités). Elles sont choisies pour représenter les percentiles 10, 50 et 90 de la distribution des empreintes carbone, c’est-à-dire des personnes qui émettent respectivement moins que 90 % de la population, plus que 50 % de la population (l’empreinte médiane, typique), et plus que 90 % de la population.

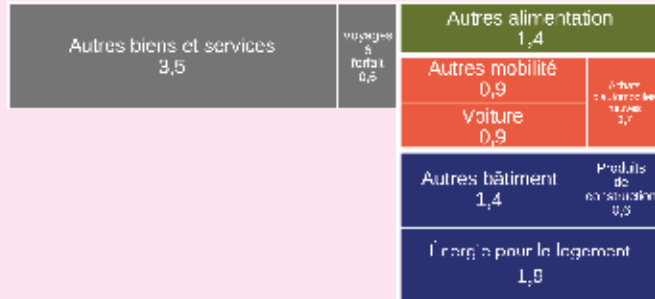
Seuls les postes de consommation finale des ménages sont montrés ici, les autres étant les mêmes pour chaque personne et n’apportant donc pas d’informations comparatives.

2020

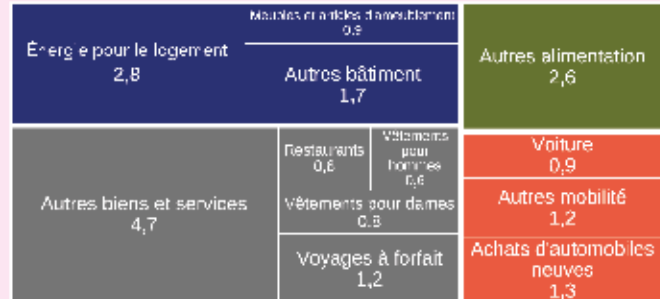
Âge : 20-24
Catégorie socio-professionnelle : Travailleurs manuels
Type de ménage : Famille monoparentale avec 2 enfants
Surface du logement : 121 m²



Âge : 40-44
Catégorie socio-professionnelle : Cadres dirigeants, professions intellectuelles
Type de ménage : Famille monoparentale avec 2 enfants
Surface du logement : 105 m²



Âge : 50-54
Catégorie socio-professionnelle : Cadres dirigeants, professions intellectuelles
Type de ménage : Couple sans enfant
Surface du logement : 53 m²

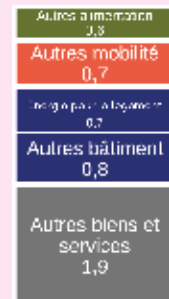


2050

Âge : 25-29
Catégorie socio-professionnelle : Travailleurs manuels
Type de ménage : Couple avec 2 enfants
Surface du logement : 89 m²



Âge : 60-64
Catégorie socio-professionnelle : Retraité
Type de ménage : Autre type de ménage - 2 personnes
Surface du logement : 70 m²



Âge : 30-34
Catégorie socio-professionnelle : Cadres dirigeants, professions intellectuelles
Type de ménage : Autre type de ménage - 2 personnes
Surface du logement : 70 m²





Zoom 4

Clairière forestière

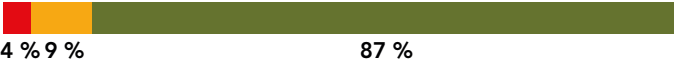
Clairière forestière

49°33'25.9"N 6°05'47,8"E

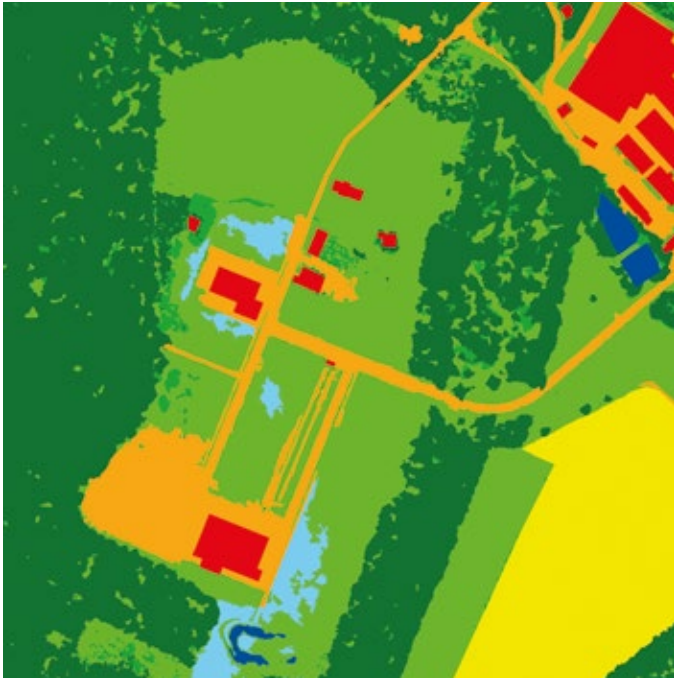
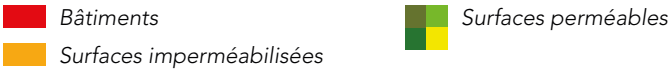
Surface totale : 42 ha

Population : travailleurs uniquement

Occupation des sols :



Surface de plancher estimée : 46 000 m²



Source : Portail SIG du Grand-Duché du Luxembourg, 2021.



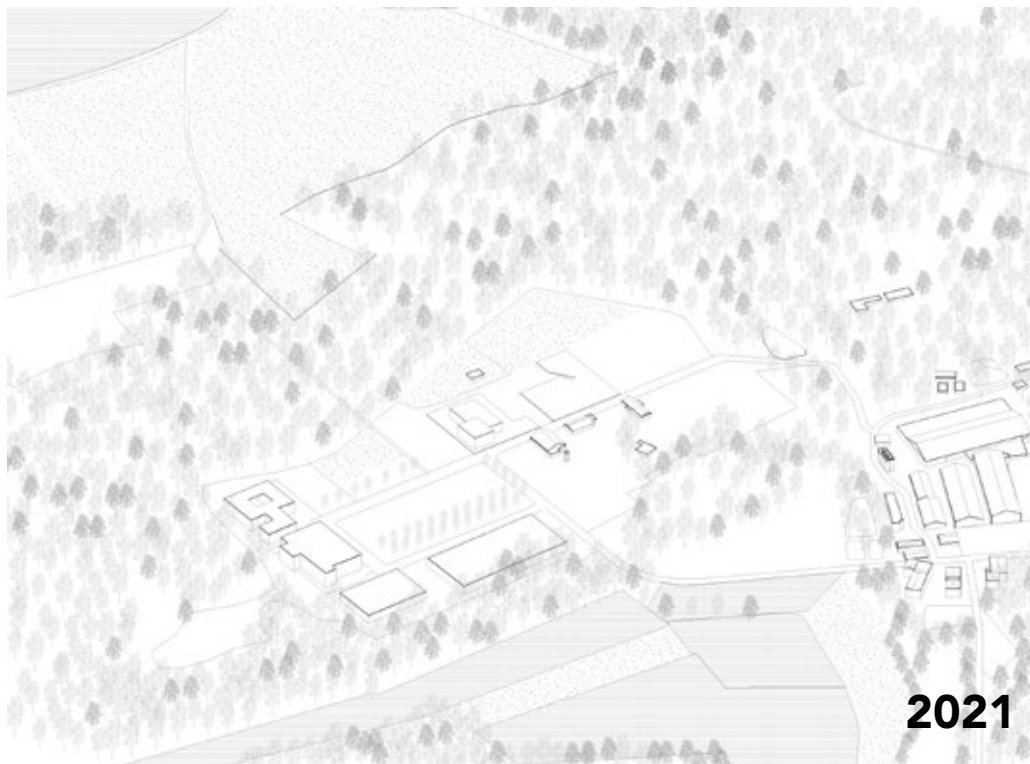
Source : Google Earth, 2021.



Forêt de Kockelscheuer, octobre 2021.







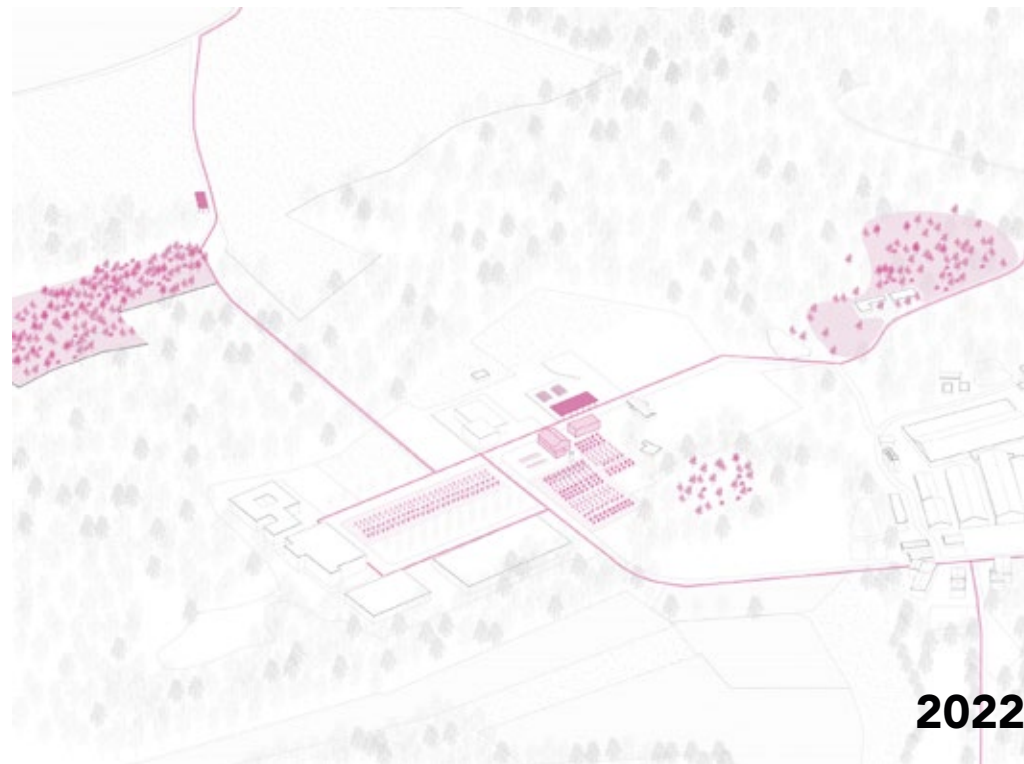
2021

AU CŒUR DE LA FORÊT DE KOCKELSCHUR, LA POUDRERIE, UNE PARCELLE PRIVÉE DÉBOISÉE

Au sud de Luxembourg-Ville, la forêt de Kockelscheur est une forêt moins connue et moins utilisée que les grandes forêts du Bambesch et du Waldhof. Cela s'explique sûrement par des développements résidentiels plus récents au sud, ainsi que par une mise à distance liée au passage de l'autoroute. Depuis Luxembourg-Ville, l'accès à cette forêt est très compliqué pour les modes actifs (cyclistes et piétons).

Majoritairement publique, la forêt du Kockelscheur est gérée de manière pro-sylva (proche de la nature), promouvant une régénération naturelle et une diversification d'âges. Elle est largement dominée par les hêtres et chênes et est vieillissante et peu productive avec un taux de prélèvement limité.

Au cœur de cette forêt, la large parcelle privée de la Poudrerie, site de développement économique, est en train de se déboiser petit à petit en vue de l'accueil de futures entreprises, menaçant de fragmenter progressivement la forêt.



2022

LABORATOIRE VERS UNE DIVERSIFICATION FORESTIÈRE

Dès 2022, le site dédié aux hautes technologies s'ouvre comme une clairière dédiée à la transition agroforestière. Des îlots-laboratoires y sont développés pour tester la plantation d'espèces diverses et la migration assistée de provenance. Ils permettent d'expérimenter différentes situations : plantation sur une parcelle ayant fait l'objet d'une coupe rase et plantation par martelage.

En parallèle de ces îlots-laboratoires, une pépinière participative peut s'installer, permettant de préparer les futurs reboisements.

La Poudrerie s'ouvre aux visiteurs, assurant le rôle d'une forêt comme bien commun où chacun peut déambuler. En portant un rôle pédagogique, ces nouvelles fonctions permettent de communiquer sur la nécessité d'une gestion forestière requérant prélèvements et diversification. Cette clairière s'inscrit ainsi en continuité avec les espaces pédagogiques de Natur&ëmwelt plus au nord.



REDÉVELOPPEMENT D'UNE FILIÈRE BOIS

Entre 2023 et 2030, le redéveloppement d'une filière bois localisée - notamment de feuillus - est la priorité afin d'assurer le maintien d'une forêt exploitée et ainsi un renouvellement des boisements. Elle permet ainsi de fournir des matériaux en vue de la rénovation et de la construction du patrimoine bâti.

Le développement d'une scierie de feuillus associé à l'implantation d'un centre de formation aux métiers du bois permet de redévelopper et de partager un savoir-faire et de valoriser un matériau local. Les **îlots-laboratoires** se développent et une dissémination naturelle commence. La forêt est exploitée et le renouvellement intègre la plantation ponctuelle d'essences (migration assistée).

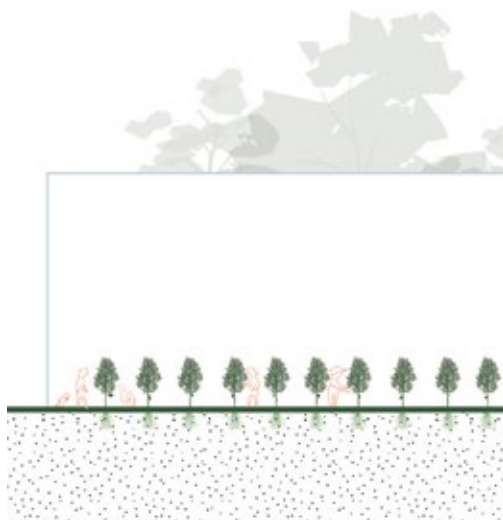
La clairière déboisée est reboisée notamment par ses lisières, assurant ainsi une diversification des milieux et une plus grande biodiversité. Le site devient accessible aux modes actifs depuis Luxembourg-Ville grâce à l'aménagement de nouveaux itinéraires. Il profite aussi de connexions en transports publics via le futur tramway rue de Luxembourg (Luxembourg-Ville - Bettembourg).

VERS UNE FORÊT DIVERSIFIÉE ET MULTIFONCTIONNELLE

La forêt productive s'est petit à petit diversifiée grâce à la migration assistée, aux plantations et à la dissémination naturelle. Les boisements se sont ainsi adaptés au changement climatique et accueillent aujourd'hui une trentaine d'espèces différentes. La production s'en trouve renforcée ainsi que la biodiversité. On y observe une nouvelle faune et flore trouvant refuge dans cette forêt à la diversité spatiale, d'âges et d'essences.

La forêt multifonctionnelle accueille un public varié. Le week-end, les habitants de Luxembourg-Ville et particulièrement de la Cloche d'Or viennent à vélo ou par le tramway pour profiter de cet espace ressource aux portes de la ville. Des activités pédagogiques conjointes sont menées entre le centre de formation bois et la maison de la nature. La forêt, avec ses clairières programmées, assure ainsi un rôle pédagogique et culturel.

Des archétypes de la transition



PÉPINIÈRES PARTICIPATIVES

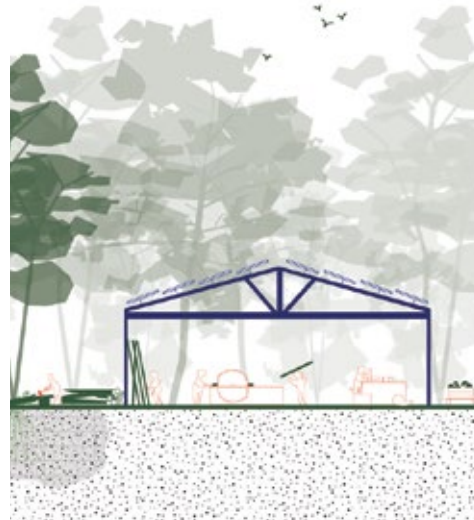
La diversification des forêts et le développement massif de l'agroforesterie nécessiteront la production de matériel forestier. Afin de valoriser les circuits courts, la création de pépinières sera nécessaire. Elles permettent d'enclencher la transition et peuvent être une première étape du reboisement de certaines parcelles. **Ces pépinières peuvent être des pépinières participatives impliquant des citoyens dans la plantation et leur gestion.**

Comme les îlots-laboratoires, elles peuvent ainsi porter un rôle pédagogique. Associées aux espaces de formation, elles permettent des formations techniques en arboriculture.



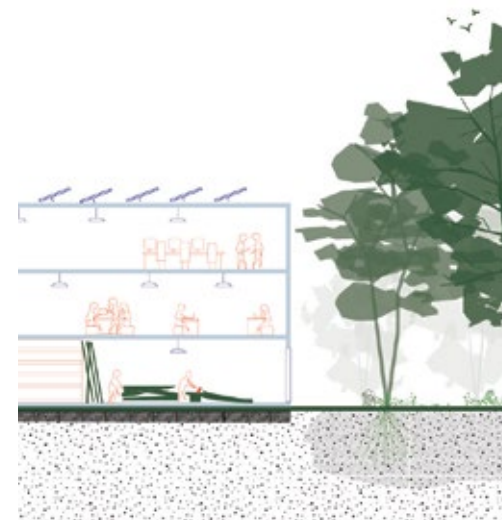
ÎLOTS-LABORATOIRES

Les îlots-laboratoires visent à assurer la résilience de la forêt de demain. Ces îlots sont des espaces d'expérimentation qui permettent de tester une diversité d'espèces ou de provenances en cœur de forêt. Ces îlots seront suivis précisément : un suivi des plantations sera effectué annuellement permettant de relever des données situées (taux de reprise, accroissement, état sanitaire). **Ces laboratoires permettront un transfert de connaissances et des échanges avec les services forestiers des pays voisins.**



SCIERIE-ÉCOLE DU BOIS

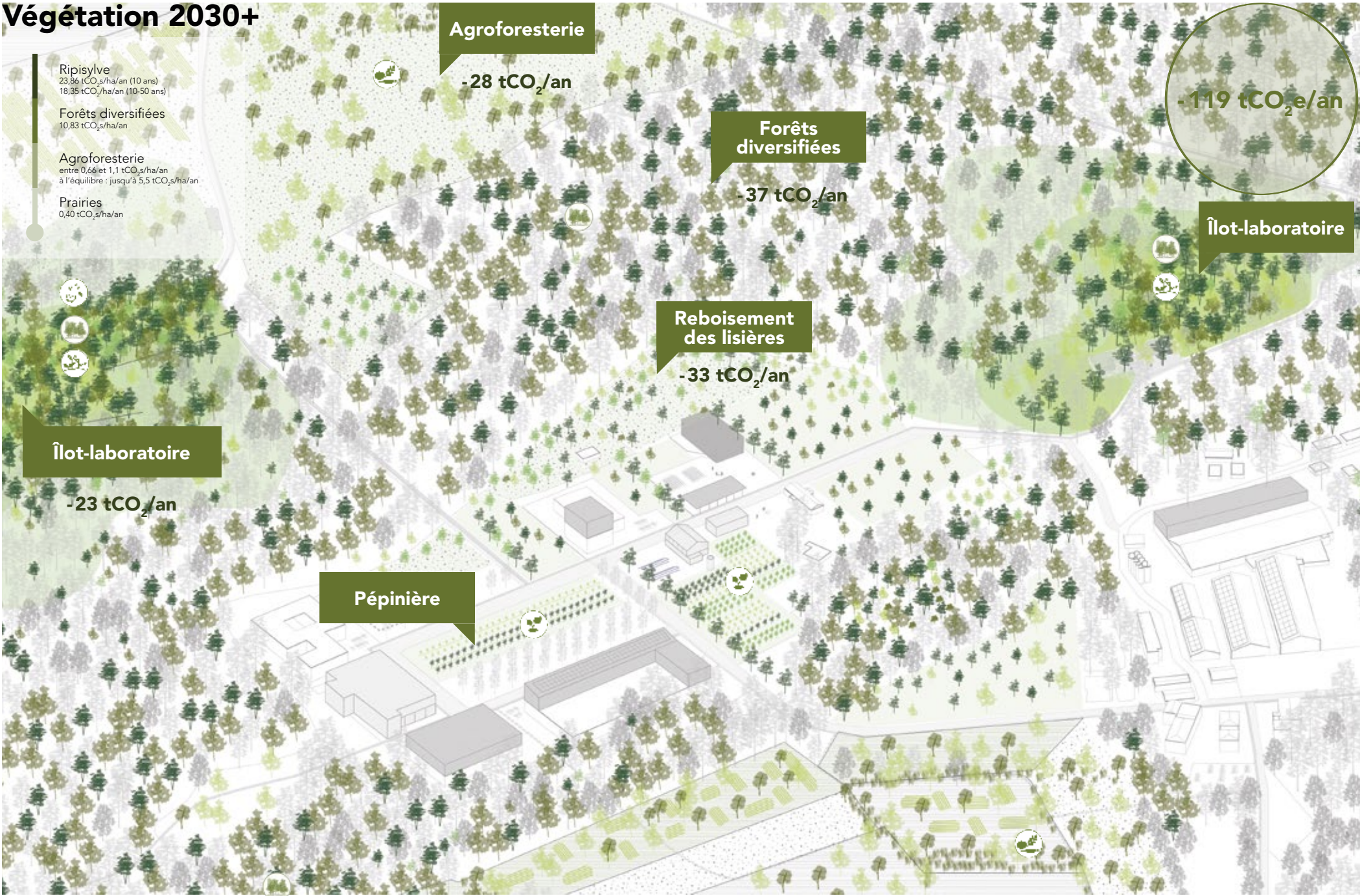
L'exploitation régulière des forêts du Luxembourg et la relocalisation d'une filière bois de feuillus impliquent le redéveloppement de scieries (les scieries de feuillus ayant disparu au Luxembourg). L'utilisation de résineux occupant depuis des années une place majeure dans la filière bois, un savoir-faire local dans l'utilisation de feuillus est à redévelopper. **La scierie-école permettra d'associer formations et mise en réseau de professionnels.** Cette école pourra jouer un rôle dans la production de structures, de mobiliers à installer dans l'espace public qui offriront un service commun tout en promouvant la provenance des productions.



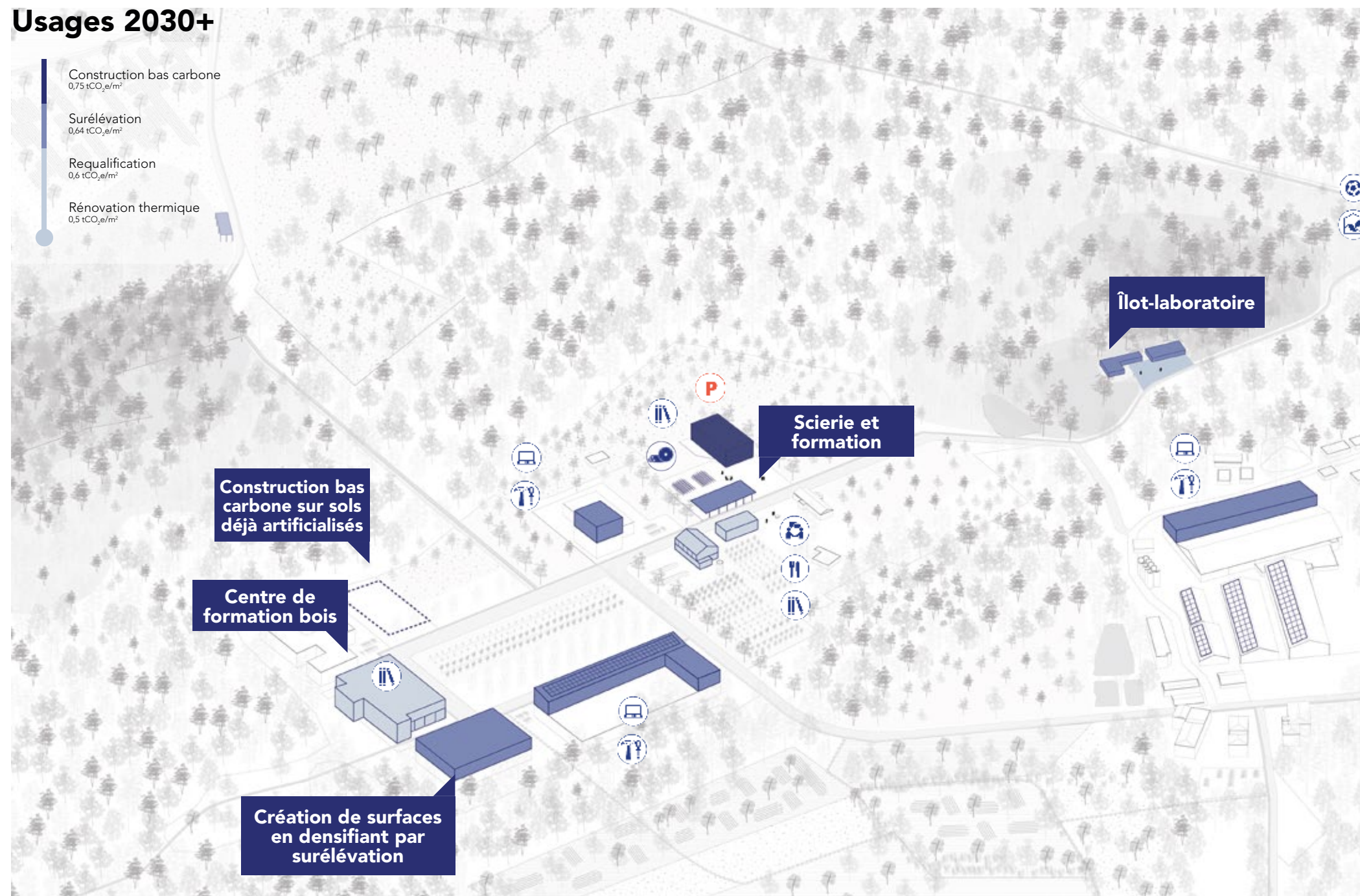
CONSTRUCTION BOIS DE FEUILLUS

La relocalisation de cette filière visera à une utilisation majeure de bois d'œuvre dans la construction. Ce matériau assurera un stock de carbone dans la construction tout en réduisant les émissions de matériaux plus carbonés. **Le futur de la construction devrait passer par l'utilisation principale de bois durable et certifié mais aussi de matériaux locaux produits et transformés au plus près.** Ce critère de localité pourrait être un des critères de sélection d'une entreprise dans le cadre de procédures de sélection du code des marchés publics, le nombre d'intermédiaires, par exemple, dans la production et la transformation pourrait en être un indicateur.

Végétation 2030+

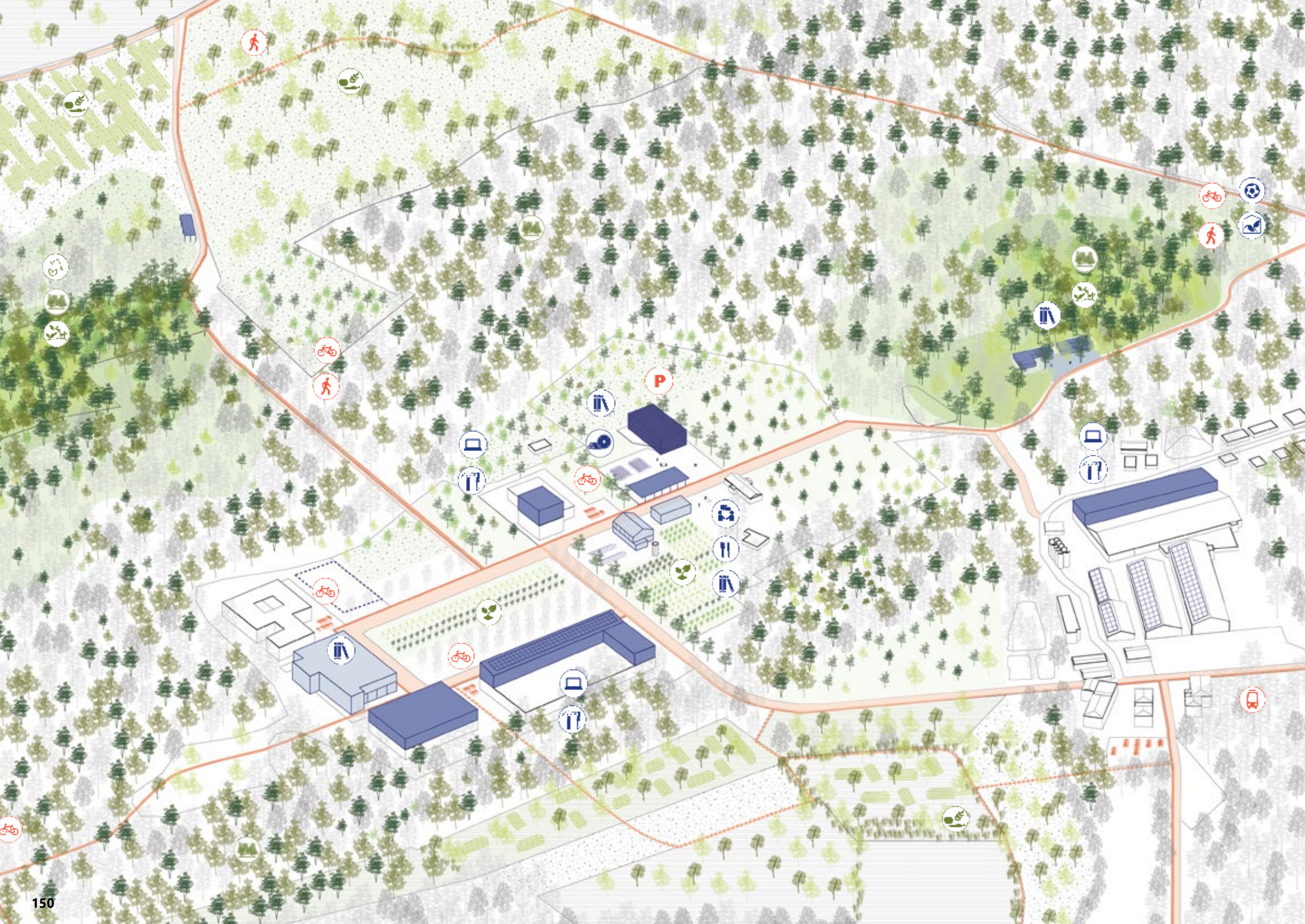


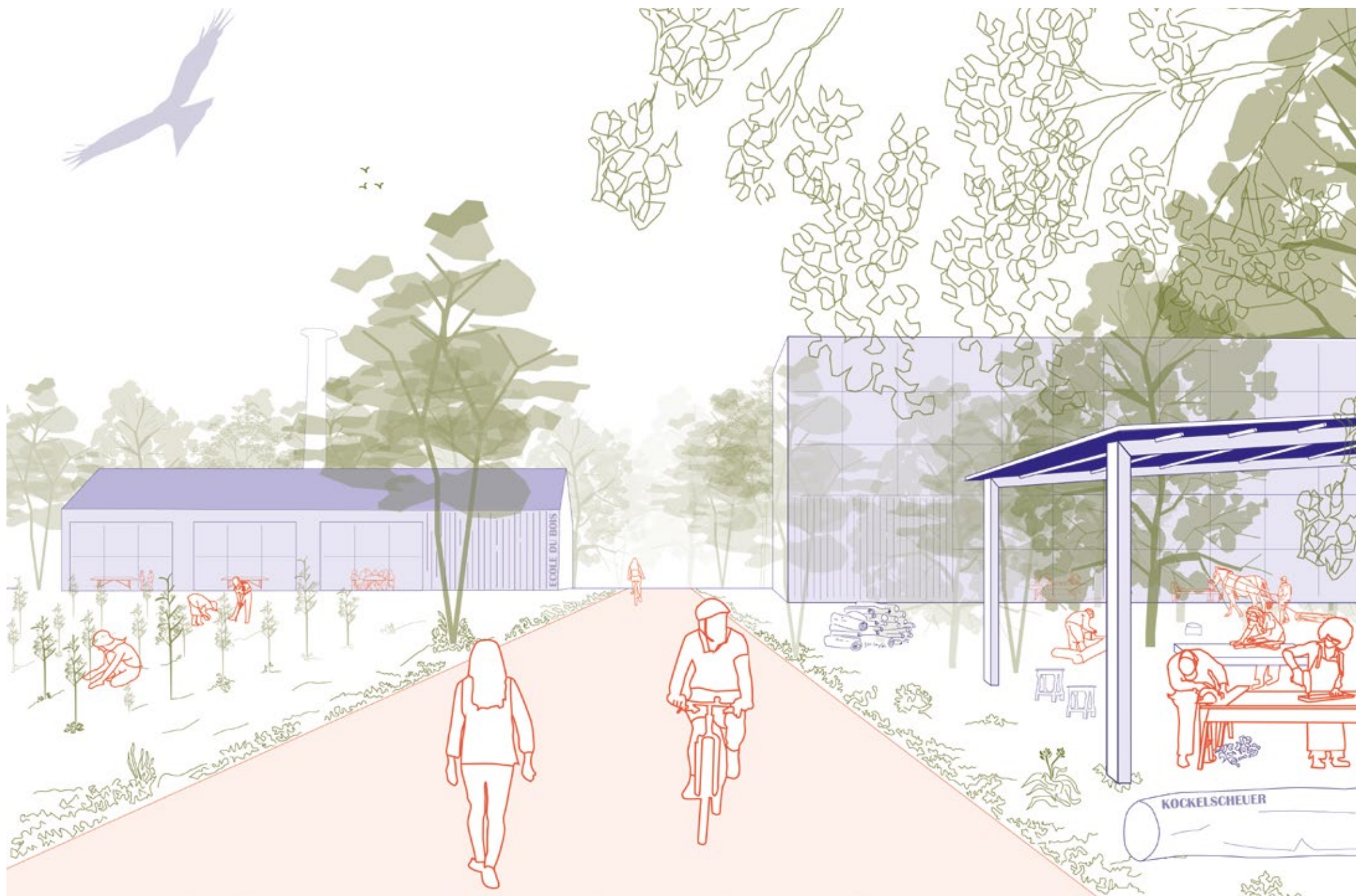
Usages 2030+



Mobilités 2030+









Zoom 5

Couronne nourricière

Couronne nourricière

49°34'34,8"N 6°05'37,5"E

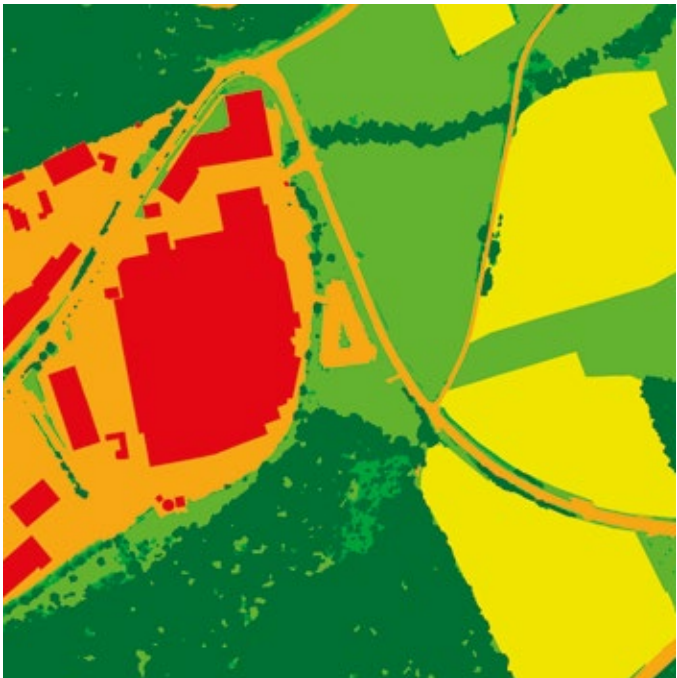
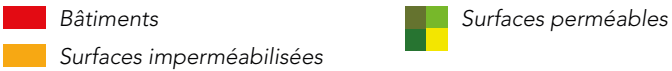
Surface totale : 42 ha

Population : travailleurs uniquement

Occupation des sols :



Surface de plancher estimée : 111 000 m²



Source : Portail SIG du Grand-Duché du Luxembourg, 2021.



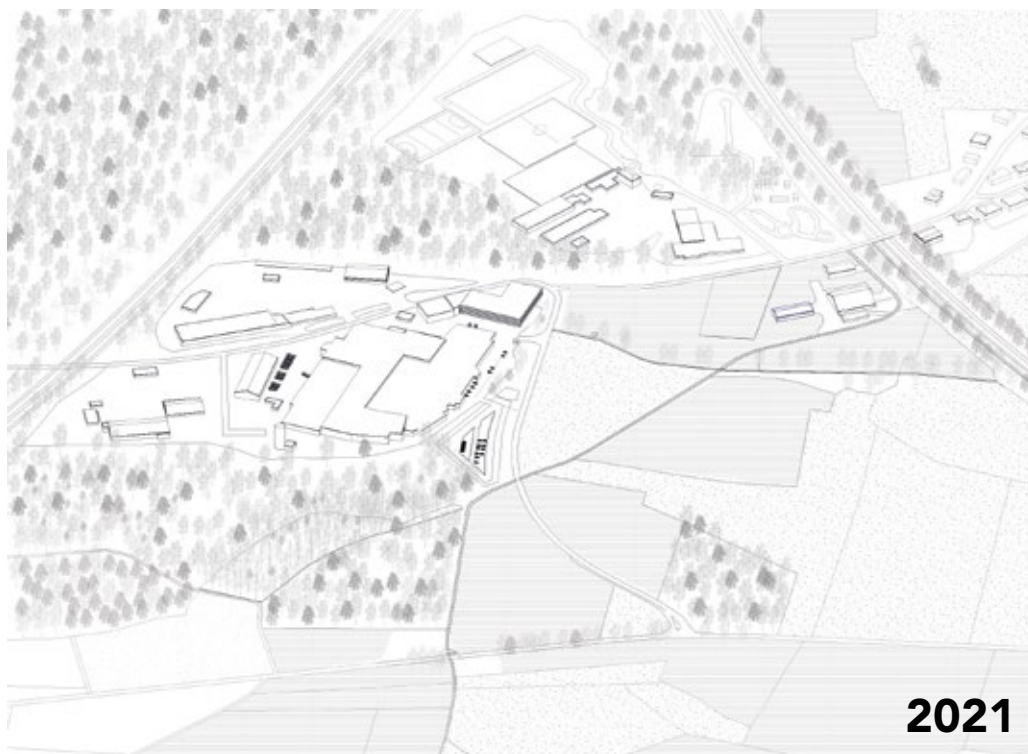
Source : Google Earth, 2021.



La Provençale, octobre 2021.







2021

UN SITE AGRICOLE DÉCONNECTÉ

Aux portes de Luxembourg-Ville, des espaces forestiers et agricoles ceignent les espaces urbanisés. Le territoire agricole, composé de larges prairies et terres arables, est dépourvu d'arbres et fragmente des massifs forestiers. Profitant de la proximité avec l'autoroute, de grandes surfaces industrielles et commerciales se sont développées. Ces espaces minéralisés ont aussi au fil du temps rogné et fragmenté les forêts.

Parmi ces surfaces, La Provençale, le plus grand centre régional de l'alimentation en gros du Luxembourg, fournit une grande partie des restaurants et collectivités du Grand-Duché. Le centre met en avant une production locale (petite partie de produits locaux) et met en avant son implantation en affichant sur sa façade « Les halles de Luxembourg ». Ceinturé par les autoroutes A1 et A16, le site présente un très faible niveau d'accessibilité pour les modes actifs, instituant la voiture individuelle comme mode de transport premier.



2022

ESPACES LABORATOIRES ET CONNEXIONS CYCLABLES

En 2022, les pistes cyclables existantes sont valorisées en donnant la priorité aux usagers fragiles. Elles permettent de créer un lien physique entre les territoires agricoles à l'ouest et à l'est de l'autoroute et renforcent l'usage des modes actifs pour connecter les espaces sportifs, les fermes, les lieux d'échange...

Le développement d'une parcelle test en agroforesterie associée à une ferme ouverte (partenariat potentiel avec l'IBLA, l'ANF...) permet de tester et de partager des bonnes pratiques agricoles. Elle permet de créer des liens avec les citoyens en développant notamment des activités pédagogiques et de la vente en direct. Un partenariat pourrait être trouvé avec La Provençale comme démonstrateur d'une stratégie de relocalisation des productions et de leur commercialisation.

Une parcelle monospécifique de résineux scolytés située au cœur du massif forestier pourrait également être replantée (cf. îlot-laboratoire sur le zoom précédent).



AGROFORESTERIE ET RELOCALISATION DE L'AGRICULTURE

Au fil des ans, l'agroforesterie se développe sur le site, redéployant un **maillage bocager accessible au public** et pouvant intégrer des plantations de bien commun comme par exemple des haies comestibles. **L'agroforesterie intraparcélaire, le préverger et les cultures entre boisements assurent des connexions écosystémiques ainsi qu'une production multiple.** Les pépinières locales (cf. zoom 4) assurent la fourniture de plantations.

La Provençale se réoriente progressivement vers la **vente de produits locaux issus de l'agroécologie.** Elle s'ouvre au grand public en créant un espace d'échange ouvert à tous, directement connecté par le futur tramway et les nouveaux réseaux cyclables.

Le développement d'une agriculture plus écologique permet de limiter les intrants chimiques et ainsi d'éviter une pollution des sols et des eaux. Elle permet aussi indirectement de **redonner de la place au Drosbech en créant un espace humide élargi et planté** (ripisylve). Elle constitue, enfin, un espace public reliant le cœur de Luxembourg-Ville à sa couronne agroforestière en accueillant les modes actifs.



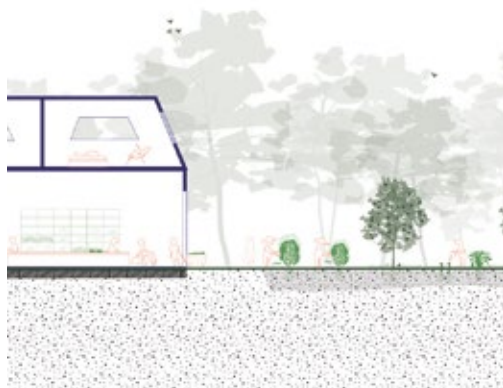
EXPANSION FORESTIÈRE

La forêt productive s'est petit à petit diversifiée grâce à la migration assistée, aux plantations et à la dissémination naturelle. Les boisements se sont ainsi adaptés au changement climatique et accueillent aujourd'hui une trentaine d'espèces différentes. La production s'en trouve renforcée ainsi que la biodiversité.

Les habitants de Luxembourg-Ville profitent de la couronne agroforestière reconnectée grâce aux modes actifs et aux transports en commun. **Les espaces nourriciers et les espaces forestiers sont parcourus par les citoyens, assurant des rencontres entre petits producteurs et consommateurs et valorisant les savoirs.**

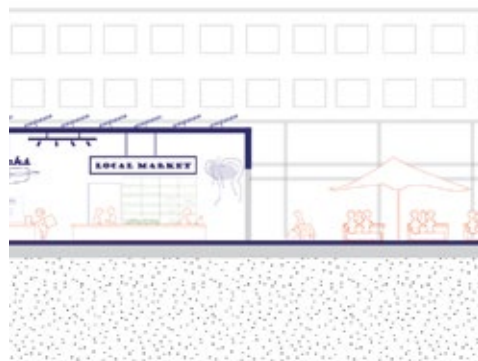
L'évolution du paysage luxembourgeois et l'agrotourisme qui s'est développé font de la couronne agroforestière un espace culturel et touristique. Certains habitants profitent aussi de leurs vacances et week-ends pour redécouvrir leur territoire, limitant le recours à un tourisme de longue distance beaucoup plus carboné.

Des archétypes de la transition



FERME OUVERTE

Les fermes installées au fil du territoire agricole peuvent jouer un rôle dans la transition écologique. Avec le développement de la polyculture et la relocalisation des productions alimentaires, les fermes peuvent s'ouvrir aux citoyens et aux consommateurs. Ces fermes ouvertes se développent au cœur de la couronne agroforestière le long des cheminements vicinaux publics. Elles offrent une multifonctionnalité aux espaces agricoles en développant des espaces polyvalents, pédagogiques, culturels, de restauration ou de loisirs. Elles peuvent également accueillir de l'habitat dédié aux travailleurs saisonniers ou à l'agrotourisme. Ces fermes révèlent l'ouverture et la polyvalence d'un monde agricole en transition, tourné vers une agriculture écologique et citoyenne.



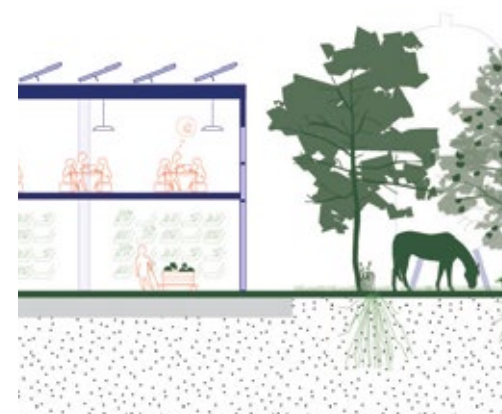
CENTRE D'ÉCHANGE LOCAL

La transition alimentaire visant à relocaliser les productions agricoles passe par le développement de centres d'échange locaux. Ces espaces permettent la transformation et la vente de produits locaux mais peuvent aussi être les lieux de réception de déchets urbains (compost) qui seront transformés puis réutilisés dans une agriculture de proximité. Ils assurent une circularité entre systèmes urbains et agricoles. Les Halles de Luxembourg, aux portes de Luxembourg-Ville, sont un lieu assurant la vente de produits locaux aux professionnels de l'alimentation, collectivités, restaurants. Elles sont idéales pour valoriser les produits locaux. Connectées par le tramway et les tracés de modes actifs, elles peuvent s'ouvrir aux consommateurs, visiteurs de la couronne agroforestière.



MAILLAGE VICINAL PUBLIC

La diversification des productions agricoles et le redéveloppement des productions maraîchères et fruitières génèrent une transformation spatiale des territoires agricoles. Les surfaces redécoupées permettent le développement de nouveaux maillages. Ces maillages publics assurent de nouvelles proximités et permettent le parcours et la découverte des espaces agricoles. Accompagnés de réseaux de haies bocagères, ces cheminements fournissent des connexions humaines et écologiques. Ils peuvent être plantés de haies comestibles et d'arbres fruitiers pouvant être récoltés par les visiteurs. Ces cheminements publics, parcourant le territoire agricole, peuvent ainsi devenir le support de trames de bien commun.



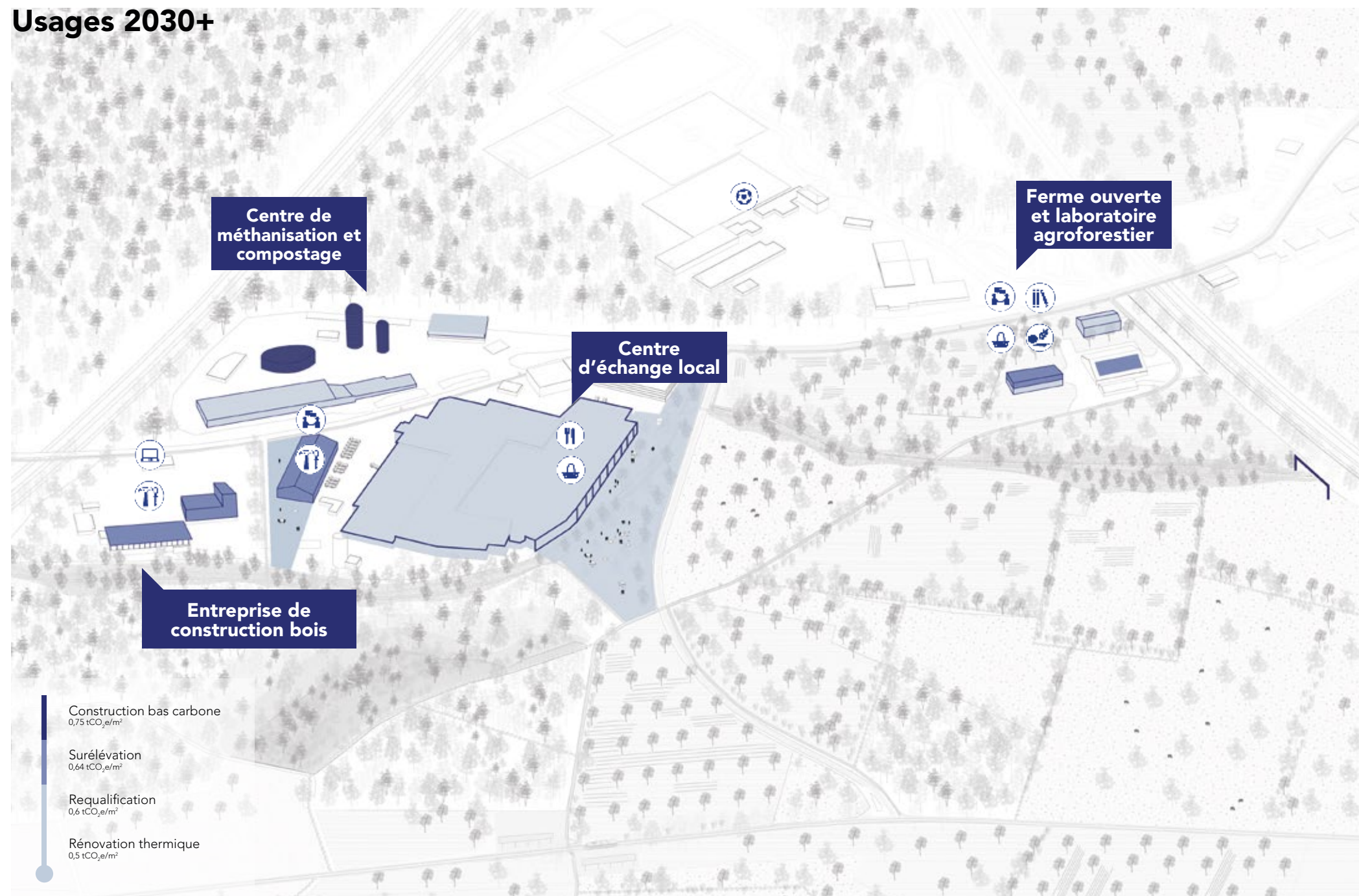
FERMES EN ZONES D'ACTIVITÉS

Les territoires naturels et agricoles ont été réduits au fil de l'urbanisation, notamment par l'implantation de zones d'activités économiques et industrielles. Ces zones ont réduit les sols vivants en les imperméabilisant. Ces espaces peuvent muter, leurs stationnements mutualisés permettant d'y retrouver des sols fertiles et cultivables. Ces zones peuvent accueillir des espaces de production agricole qui peuvent ainsi profiter de lieux de transformation, de vente à proximité. Elles favorisent ainsi une diversification des programmes dans ces zones monofonctionnelles tout en évitant de nouvelles constructions agricoles sur des sols fertiles.

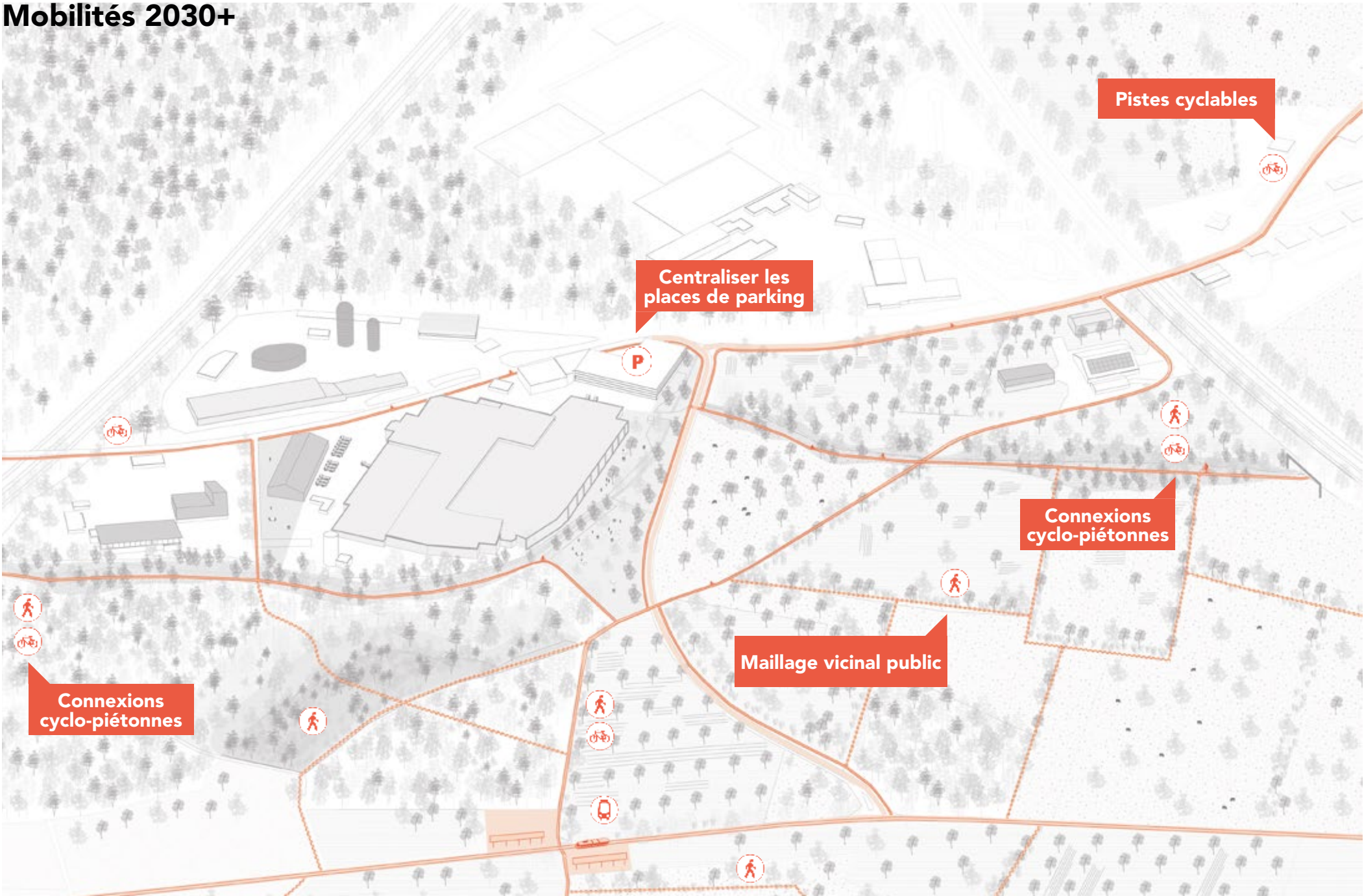
Végétation 2030+



Usages 2030+



Mobilités 2030+





Des maillages vicinaux reconstitués au sein d'espaces agricoles diversifiés



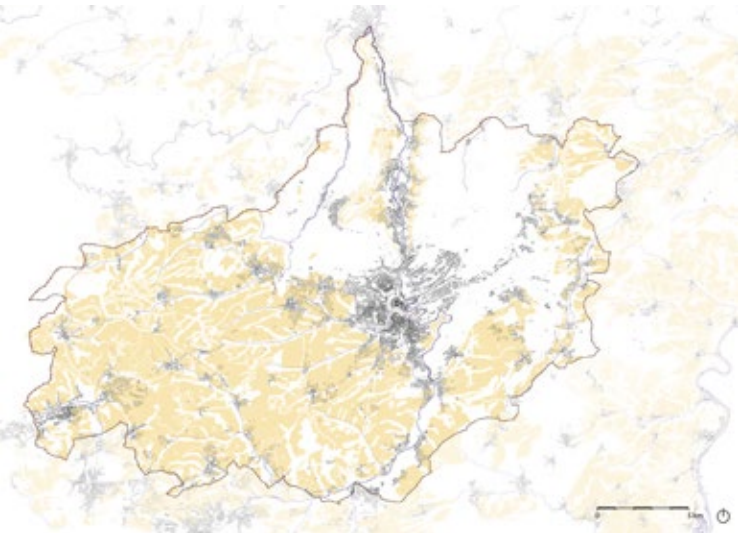
La couronne agroforestière comme laboratoire

EN DÉZOOMANT AU-DELÀ DE NOS CINQ SITES D'ÉTUDE, LA COURONNE AGROFORESTIÈRE ET LE TERRITOIRE DE LA ZONE VERTE INTERURBAINE CONSTITUENT L'ENDROIT IDÉAL POUR CRÉER UN LABORATOIRE À GRANDE ÉCHELLE DE LA TRANSITION.

Tous les arguments sont là pour initier la transition dès demain sur cet espace.

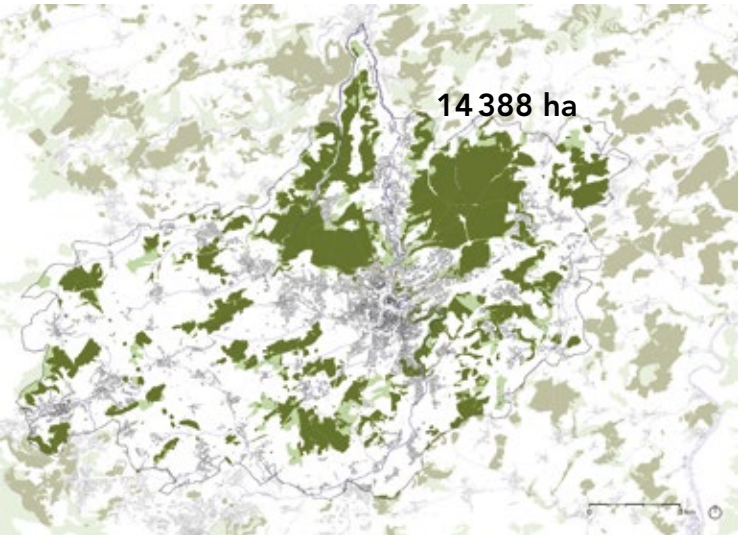
- **La couronne agroforestière est installée sur la surface de sols argileux la plus importante du Luxembourg.** Ces sols sont idéaux pour séquestrer durablement le carbone.
- **Les forêts de cette couronne sont majoritairement publiques.** La gestion pro-sylva qui y est menée est déjà une bonne gestion à mettre en avant. De plus, elles sont déjà des espaces accueillant des pratiques sociales diversifiées. Utilisées par les citoyens, elles peuvent être vecteur d'une transition culturelle et support pédagogique. Enfin, elles accueillent déjà des espaces laboratoires et pédagogiques (ex. : Natur&ëmwelt).
- **Le territoire agricole à proximité des consommateurs peut faciliter l'émergence d'une production locale en assurant la commercialisation de la production.** De plus, les échanges écosystémiques entre ville et campagne seront facilités (compostage...).
- **Un territoire avec un réseau cyclable déjà présent** qu'il s'agit simplement de mettre en avant et de renforcer. Les principales connexions à renforcer viseront à limiter les fractures infrastructurelles en valorisant les pistes cyclables.

Des sols argileux



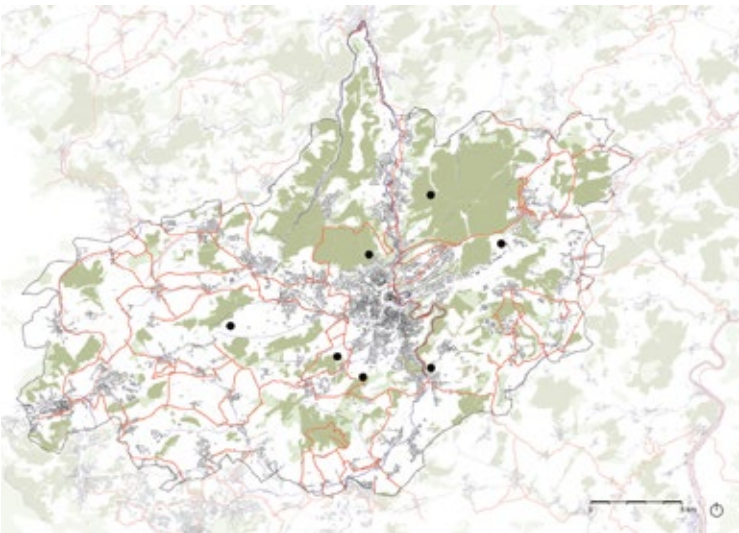
Argile

Un domaine public étendu



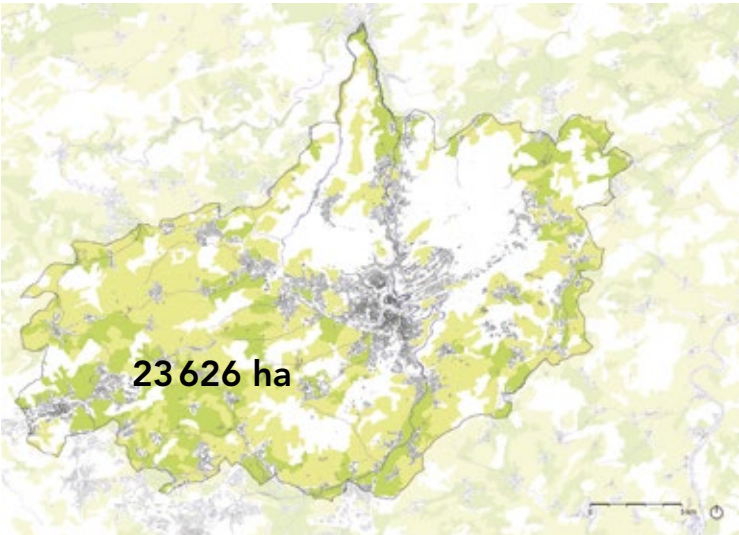
Forêts publiques Forêts privées

Un paysage connecté multifonctionnel



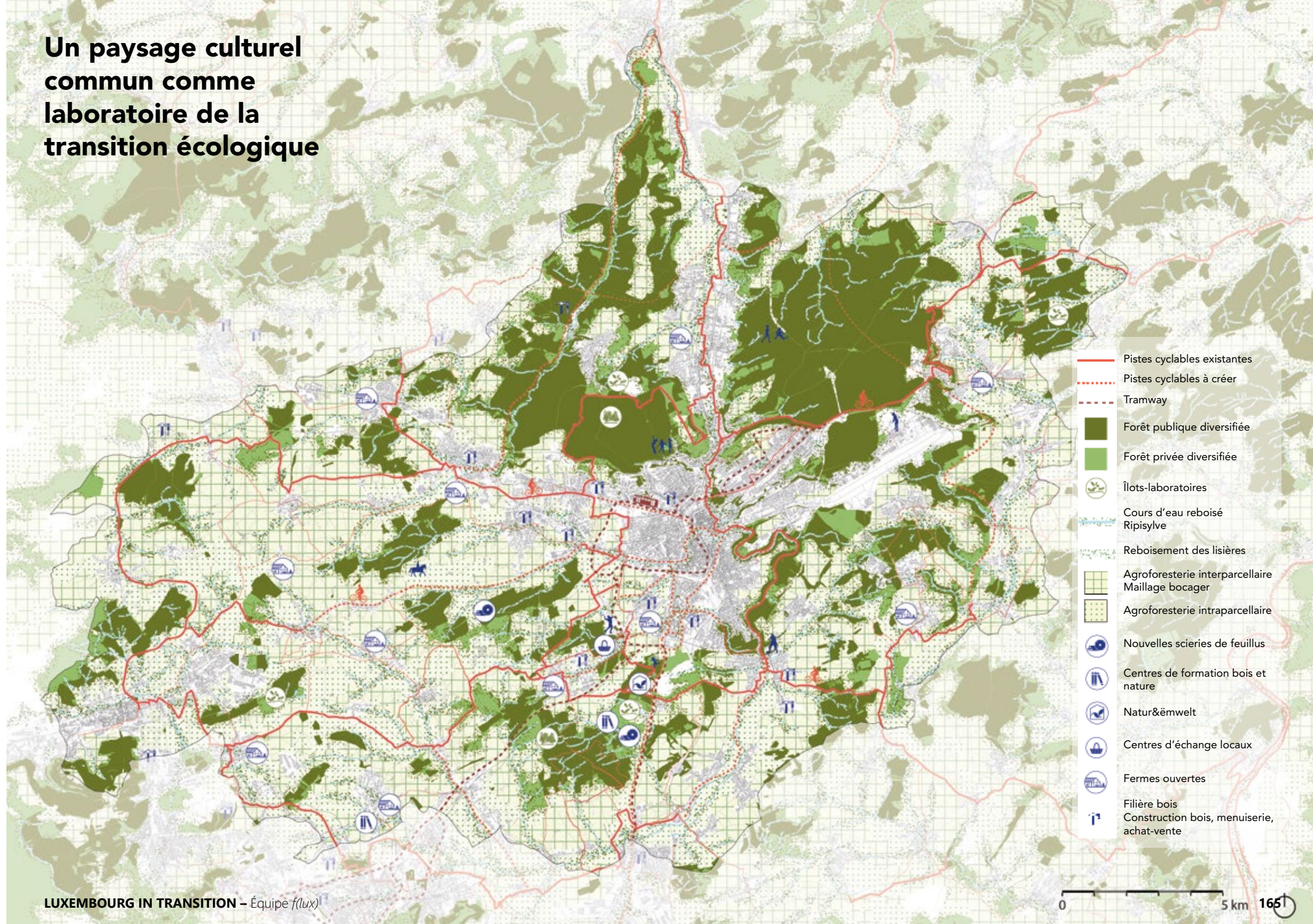
Pistes cyclables Loisirs

Un territoire nourricier de proximité



Terres arables Prairies

Un paysage culturel commun comme laboratoire de la transition écologique

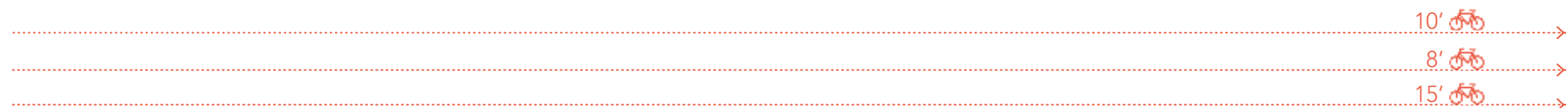
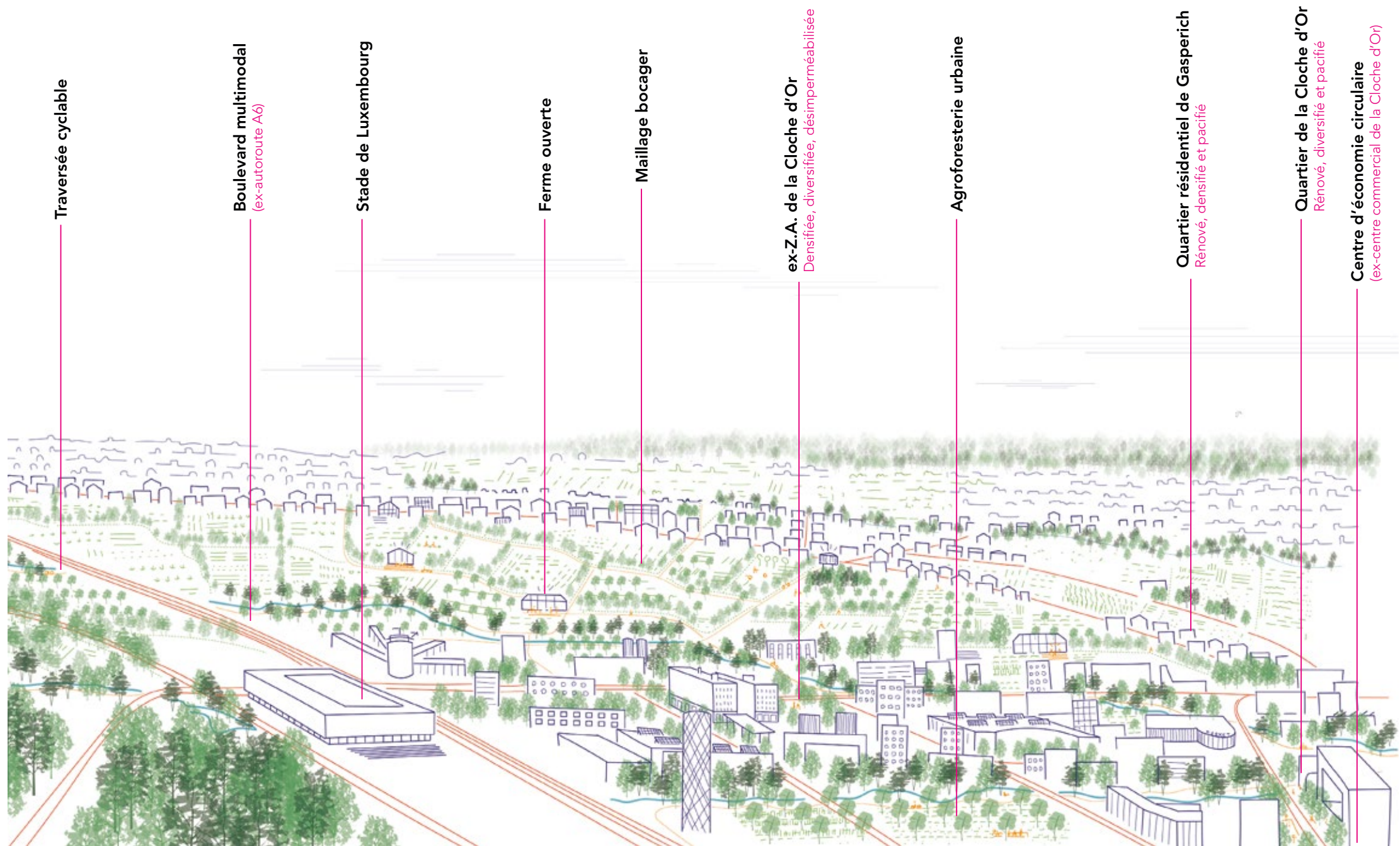




Clairière forestière
←

Les Halles de Luxembourg
←

Natur&ëmwelt
←



Cloche d'Or

Vers un monitoring des projets démonstrateurs

AFIN D'ÉVALUER LA PERTINENCE DES PROJETS DÉMONSTRATEURS, NOUS PROPOSONS DE METTRE EN PLACE UNE MÉTHODE DE SUIVI DE LEUR IMPACT SUR L'EMPREINTE CARBONE DES MÉNAGES.

La quantification du potentiel de décarbonation de nos stratégies étant soumise à de nombreuses hypothèses et incertitudes, nous proposons la méthodologie suivante afin de l'évaluer de manière « expérimentale ».

1. **Enquête auprès des ménages du quartier** pour évaluer leur empreinte carbone avant intervention sur le site démonstrateur.
2. **Co-conception de la stratégie de transition locale** avec les habitants.
3. **Mise en œuvre d'interventions tactiques provisoires sur l'espace public** (rééquilibrage des voiries, baisse des vitesses, refonte du schéma de circulation, équipements de proximité démontables...).
4. **Évaluation de l'effet du projet sur l'empreinte carbone des ménages** pendant et à l'issue de l'expérimentation.
5. **Retour d'expérience et adaptation des interventions** en fonction de leurs résultats et des retours des habitants.
6. **Pérennisation des aménagements** et nouvelle enquête pour évaluer l'impact après pérennisation.
7. **Déploiement de la stratégie à grande échelle**, en impliquant les habitants pour adapter chaque projet de transition aux spécificités de chaque territoire.



Gasperich, avril 2021.

Conclusions

Conclusions

La consultation *Luxembourg in Transition* a été pour nous une formidable opportunité d'interroger les outils et doctrines de l'aménagement du territoire au prisme de la transition écologique, et **nous tenons ici à remercier le ministère de l'Énergie et de l'Aménagement du territoire du Grand-Duché de Luxembourg** pour son ambition, sa confiance, ainsi que pour les moyens mis en œuvre au service de cette vision. **Nous remercions également chaleureusement l'encadrement scientifique de la consultation** pour son exigence, ses retours inspirants et son accompagnement tout au long de la mission.

QUELQUES ENSEIGNEMENTS DU SCÉNARIO F(LUX)

Comme nous avons tenté de le montrer au cours de cette étude, l'aménagement du territoire a un rôle crucial à jouer dans la transition écologique et la décarbonation de la région fonctionnelle luxembourgeoise. Il constitue la toile de fond de nos existences, et conditionne une grande partie de nos modes de vie.

Le cumul de l'ensemble des actions du scénario f(lux) permettrait de diminuer significativement l'empreinte carbone moyenne des habitants de la région fonctionnelle du Luxembourg, de 16,1 tCO₂e/pers./an en 2020 à 6,5 tCO₂e/pers./an en 2050, soit une baisse de 60 % – à comparer avec une baisse de 20 % seulement dans le scénario tendanciel, portée essentiellement par une décarbonation ralentie de l'économie, sans action sur les usages.

Si certaines des hypothèses que nous avons prises peuvent sembler fortes, elles montrent en réalité l'ampleur du défi restant à accomplir.

Pour la mobilité, par exemple, notre modèle intègre la suppression de tous les vols de loisirs dès 2030 dans l'attente de technologies décarbonées, le développement massif du vélo pour la courte distance, le recours au télétravail deux jours par semaine pour tous les emplois qui le permettent, l'électrification de 100 % du parc automobile en 2050, la baisse de 30 % des distances parcourues en voiture, ou encore un taux de remplissage moyen des véhicules de deux personnes.

Et pourtant, malgré ces hypothèses, la mobilité représenterait encore 0,7 tCO₂e/pers./an en 2050, soit 40 % de l'empreinte carbone cible de 1,8 tCO₂e/pers./an pour un scénario +2°C.

De même, sur le secteur du bâtiment, notre scénario de zéro artificialisation brute se veut particulièrement ambitieux : en remontant à la question des besoins, et en misant essentiellement sur une réaffectation des mètres carrés déjà construits pour répondre à la forte demande de logements, il suppose une transformation massive du secteur du bâtiment - qui devrait se réorienter principalement vers la réhabilitation et la rénovation thermique plutôt que le neuf - et un effort important sur le plan des usages et des organisations pour



Luxembourg-Ville, avril 2021.

Conclusions

parvenir à mettre en adéquation le patrimoine immobilier existant avec la demande. **L'empreinte carbone du logement passerait ainsi à 1 tCO₂e/pers./an, soit une baisse de 2,2 tCO₂e/pers./an (-70 %). Mais le logement constituerait alors toujours 55 % de l'empreinte carbone cible de 1,8 tCO₂e/pers./an en 2050** – une part encore conséquente, qu'il serait possible de réduire davantage par une décarbonation plus importante de l'approvisionnement énergétique des logements, le développement et l'utilisation de produits de construction et d'équipements bas carbone, ou encore l'allongement de la durée de vie de ces produits et de tous les autres biens durables (meubles, électroménager...), par la réparation et le réemploi.

Enfin, sur la forêt, l'agriculture et l'alimentation, le scénario f(lux) estime qu'il serait possible de multiplier par 4 le flux de séquestration de la région fonctionnelle luxembourgeoise entre 2020 et 2050 (passant de 1,1 tCO₂e/pers./an à 4,3 tCO₂e/pers./an, contre une baisse de près de 30 % dans le scénario tendanciel), **tout en diminuant de moitié les émissions liées à l'alimentation** (en passant 1,3 tCO₂e/pers./an à 0,6 tCO₂e/pers./an, soit 35 % de l'empreinte carbone cible de 1,8 tCO₂e/pers./an en 2050). Ce scénario suppose cependant de travailler activement à la résilience du patrimoine forestier, fortement menacé par le changement climatique, et à la transition conjointe des régimes alimentaires et des modes de production agricole.

TRAVAILLER SUR LE « RESTE À FAIRE » DE LA TRANSITION

Le potentiel de baisse des émissions identifié par le scénario f(lux) n'est cependant pas suffisant pour atteindre l'objectif 2050. La stratégie que nous avons esquissée dans cette étude ne saurait donc être que partielle. D'autres actions devront être déployées pour des postes moins directement liés à l'aménagement du territoire comme les activités publiques (administration, santé, éducation, associations...) et privées (formation de capital, stocks de biens durables), qui représentent 2,9 tCO₂e/pers./an en 2050, dans le scénario f(lux). Il faudra également agir sur la consommation de biens et services des ménages, qui représente toujours 1,3 tCO₂e/pers./an d'émissions en 2050 dans le scénario f(lux).

Enfin, nos estimations montrent que même une réduction de 100 % des émissions de ces deux derniers postes ne suffirait pas pour atteindre l'objectif 2050, ce qui signifie que d'autres actions restent à développer pour l'agriculture, les sols, la forêt, l'alimentation, la mobilité et la construction : pousser la sobriété d'usage plus loin, améliorer encore plus l'efficacité des technologies, décarboner plus profondément le système d'approvisionnement énergétique...



Elange, avril 2021.

Conclusions

AGIR DÈS 2022 POUR AMORCER LA TRANSITION

L'ampleur de la tâche à accomplir ne doit cependant pas être un frein à l'action, mais bien un moteur. Comme le répète régulièrement le GIEC, « chaque tonne de CO₂ non émise compte ». **De nombreuses mesures peuvent et doivent être mises en œuvre dès 2022 afin d'amorcer la transition.**

Lors de récentes situations de crise (Covid, attentats...), de nombreux dispositifs temporaires ont éclo dans l'espace public pour pallier à l'urgence. **L'absence de tels aménagements pour répondre à la crise climatique montre bien que nous n'avons pas encore pris collectivement la mesure de son urgence.** Les personnes déjà sensibilisées au danger ne comprennent pas que l'on n'agisse pas de manière plus rapide. Les sceptiques se disent que si le péril était si important, on aurait déjà pris des mesures d'urgence.

La planification et les mesures de long terme sont bien sûr extrêmement importantes. Mais les mesures de court terme, celles à prendre dès l'année prochaine, le sont tout autant, à la fois pour enclencher la baisse des émissions, et pour intégrer collectivement l'urgence de la situation.

Plusieurs mesures d'urgence, dont nous précisons la mise en œuvre dans les parties 2 et 3 du présent rapport, nous semblent ainsi s'imposer.

Dans le domaine du bâtiment, pour atteindre l'objectif de zéro artificialisation brute, **un grand plan d'identification des gisements de mètres carrés mobilisables** doit être mené, ainsi qu'une **étude approfondie des mesures à adopter pour faciliter leur mobilisation.**

La rénovation énergétique de tout le patrimoine bâti doit également être accélérée dès 2022 pour atteindre les objectifs fixés à 2050.

Dans le secteur forestier et agricole, le renforcement de la diversité spatiale, d'âges et d'essences du patrimoine forestier est absolument crucial pour assurer sa résilience face au changement climatique, et ainsi préserver sa biodiversité et sa capacité de séquestration carbone. L'oxydation de la totalité de ce carbone – dans un scénario extrême et donc peu probable – par exemple lors de l'artificialisation d'un sol ou de la combustion de la biomasse, générerait selon nos estimations l'émission de plus de 400 millions de tonnes de CO₂, soit 14 fois les émissions annuelles de la région en 2020 ou 100 fois les émissions annuelles à atteindre en 2050 dans le cadre d'une trajectoire 2°C.

Les îlots-laboratoires et les pépinières constituent des outils précieux, à déployer dès 2022, pour se prémunir de ce scénario catastrophe et amplifier le potentiel de séquestration carbone des forêts luxembourgeoises.



Pommerloch, avril 2021.

Conclusions

Enfin, dans le domaine des mobilités,

en complément des nombreux projets de développement des transports en commun déjà à l'étude – et absolument nécessaires pour réduire la dépendance à l'automobile sur les moyennes et longues distances – plusieurs mesures d'urgence nous semblent indispensables.

- **Adopter un moratoire sur la construction de nouvelles routes et réduire les vitesses sur l'ensemble du réseau existant**, pour freiner la croissance du trafic automobile.
- **Rééquilibrer le partage de l'espace public de manière tactique et repenser les schémas de circulation** pour accélérer la transition vers des mobilités décarbonées pour les déplacements de courte et moyenne distances (la partie 2.3 et les zooms de la partie 3 de ce rapport présentent plusieurs exemples de transformations tactiques possibles).

QUELLE PARTICIPATION CITOYENNE ET QUELLES DÉCLINAISONS LOCALES DE LA TRANSITION ?

La question des modalités de mise en œuvre de la transition reste par ailleurs largement ouverte. Si la transition requiert de très nombreuses expertises scientifiques et techniques, celle-ci ne saurait se résumer à un projet technocratique descendant, et serait de toute façon impossible sans une participation importante des citoyens. **Par quelles modalités associer expertises scientifiques et participation citoyenne ? Comment mobiliser toute la société civile dans le projet de transition ? Comment concilier objectifs globaux et mesurables et déclinaisons territorialisées de la transition ?**

La consultation *Luxembourg in Transition*, associant comité interministériel, comité consultatif, comité scientifique et comité citoyen, avait intégré cet enjeu dès son lancement, et la qualité des échanges avec le comité citoyen en a démontré l'importance et la pertinence. Le défi sera désormais de trouver le chemin pour faire éclore des projets de transition adaptés à chaque situation locale.



Luxembourg-Ville, avril 2021.

Conclusions

QUEL « PROGRAMME APOLLO » POUR FAIRE ATTERRIR LA TRANSITION ?

Enfin, cette consultation aura confirmé, s'il en était besoin, la nécessité de faire dialoguer les champs et les expertises afin de concevoir des stratégies de transition pertinentes. En croisant disciplines de la conception architecturale, urbaine et paysagère, ingénierie, sciences de l'environnement, sociologie des mobilités et métriques de la transition, nous nous sommes efforcés d'esquisser un chemin crédible, phasé et quantifié pour participer à l'effort de transition de la région fonctionnelle luxembourgeoise.

Cependant, à l'aboutissement de ce travail, il nous semble que nous n'avons fait qu'effleurer le sujet, et que la mise en œuvre d'une stratégie opérationnelle de transition territoriale nécessiterait une mobilisation de savoirs et de savoir-faire sans commune mesure, et probablement inédite dans l'histoire. **Sciences de l'environnement, ingénierie, sociologie, design, architecture, urbanisme, paysage, agronomie, droit, philosophie, sciences politiques...** rares sont les disciplines n'ayant pas à contribuer à la compréhension et à la définition des stratégies à mettre en œuvre pour tenter de répondre au défi éminemment systémique de la transition écologique.

Si d'innombrables acteurs de la recherche, des secteurs public, privé et associatif travaillent bien sûr déjà activement à ce vaste chantier, il nous semble que les espaces de dialogue et de coordination de tous les champs nécessaires à la transition sont encore trop rares.

Nous avons fêté il y a deux ans les 60 ans du programme Apollo (1961-1972). On estime que ce dernier aura coûté au total plus de 153 milliards de dollars US – en valeur 2019 corrigée de l'inflation – et mobilisé plus de 400 000 personnes, avec pour objectif de poser un homme sur la Lune en moins d'une décennie.

L'enjeu majeur du siècle n'est plus d'alunir, mais bien, pour reprendre l'expression de Bruno Latour, de « faire atterrir » nos sociétés hautement dépendantes aux énergies fossiles et à la consommation de ressources, pour préserver l'habitabilité de la planète Terre. Cet objectif n'est pas moins ambitieux, loin de là.

Quel sera le programme Apollo susceptible de coordonner les efforts de milliers de chercheurs, concepteurs, citoyens et praticiens au service de la transition ?

*Photo du célèbre
« lever de Terre »,
capturé par William Anders lors
de la mission Apollo 8, 1968.
©NASA.*



L'équipe f(lux)

AREP

Direction générale

Raphaël Ménard, Philippe Bihouix

AREP Territoires

Madeleine Masse, Hiba Debouk, Grégoire Robida, Kélissa Cartier, Antonia Bon

AREP Environnement et Numérique

Félix Pouchain, Thomas Lannelongue, Selim Jouan

TAKTYK

Thierry Kandjee, Sébastien Penfornis, Simon Auperpin, Silvia Parra, Solène Roussel-Galle, Alice Chanu

QUATTROLIBRI

Julien Dossier

INSTITUT DE LA TRANSITION ENVIRONNEMENTALE SORBONNE UNIVERSITÉ (SU-ITE)

Luc Abbadie, Jean-Jacques Perrier

MOBIL'HOMME

Marc-Antoine Messer

Crédits photo AREP : Simon Auperpin / Kélissa Cartier / Grégoire Robida
Cartes et schémas : AREP / Taktyk

AREP, inventer un futur post-carbone

AREP, filiale de SNCF Gares & Connexions, est la première agence d'architecture de France avec près de 1 000 collaborateurs, dont une centaine en Asie, engagés dans l'invention d'un futur post-carbone. AREP intervient sur tous les métiers : architecture, urbanisme, design, ingénierie, conseil et programmation, environnement et numérique et management de projet. Structurée autour d'un collectif de dirigeants militants, l'agence apporte des réponses concrètes aux enjeux majeurs de l'urgence écologique, notamment via son référentiel EMC2B et sa revue *POST*.



www.arep.fr

