

Consultation internationale
urbano-architecturale et paysagère

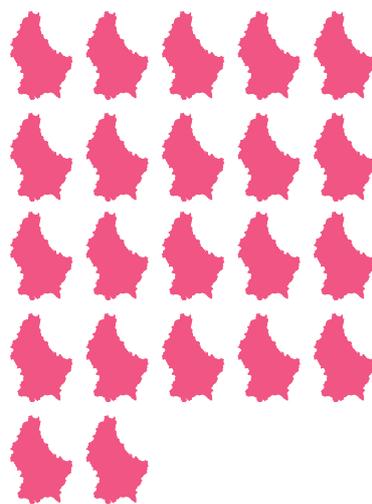
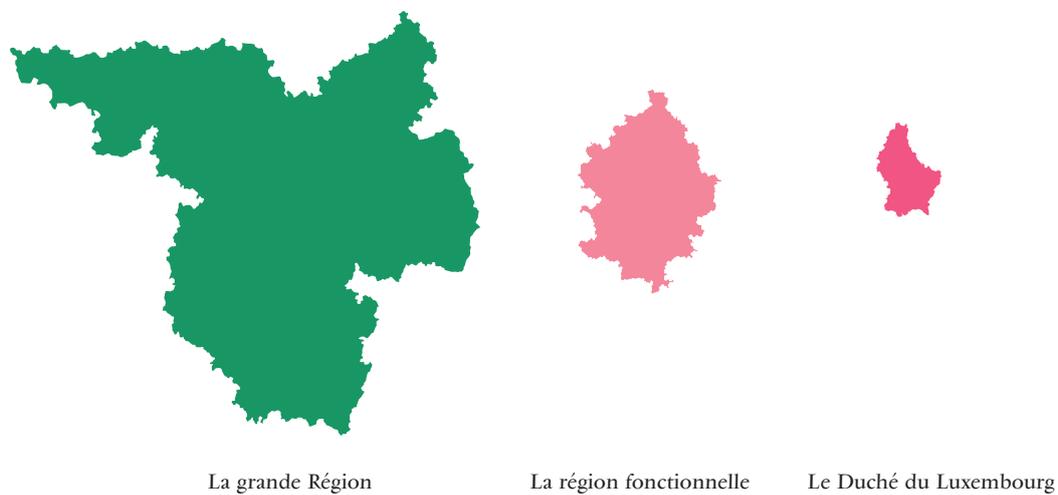
Premier pré-rapport

Luxembourg in transition

Métriques du quotidien :
matières et coalitions de l'alimentation
et de la construction

TVK

Janvier 2021



Pour stocker tout le carbone émis par le pays, en 2017 il fallait 57295 km² soit 22 fois la taille du Grand Duché

Fig 1. Comparaisons territoriales: le Grand Duché, la région fonctionnelle, la Grande Région. [Source: Global footprint]

Calculées par statistiques, les empreintes carbone aident à fixer des caps et à cadrer des accords globaux. Mais le passage à l'action nécessite ensuite des métriques, beaucoup plus fines, précises et situées, que celles habituellement utilisées : une métrique du quotidien, qui articule les nuages de gaz à effet de serre avec chaque hectare du sol luxembourgeois.

Des matières en filature

Les discours de l'urbanisme écologique restent encore trop souvent sur des échelles et des objets « classiques » de la planification (des zones urbaines et les transports qui les relient) tout en incriminant des modes de déplacement ou des types de tissus urbains, stigmatisant, au passage, les habitants, les usagers et leurs modes de vie : discernant les bâtiments vertueux des autres, valorisant certains usages, discréditant les autres. Notre approche part de l'échelle plus fine des matières, et prend leurs circuits en filatures, faisant apparaître d'autres hiérarchies territoriales.

Des coalitions matérielles et infrastructurelles

Lire le territoire à partir des matières nous conduit à analyser les lieux et les infrastructures au plus près et ensemble. Cela révèle autant des manques que des potentiels, des proximités que des complémentarités ou des alliances possibles entre les lieux de vie, de production, de transformation et de transport. Une telle perspective permet d'imaginer de nouvelles coalitions entre les matières de l'alimentation et de la construction et leurs infrastructures.

Un nouveau système productif

Cette attitude ouvre des pistes concrètes pour une transition atteignable : plutôt qu'un horizon lointain et idéal, elle prend appui la matérialité des territoires existants.

À condition de se saisir de la question matérielle et de dépasser le seul domaine de l'urbanisme pour le croiser avec les politiques industrielles, d'emploi, de formation, de protection environnementale, la prospective et la planification territoriale pourraient gagner en pertinence, en efficacité et en pérennité. Cela permettrait d'accompagner le développement d'un nouveau système productif, condition nécessaire pour atteindre durablement les objectifs de la transition.

Regarder le Luxembourg en transition, c'est gager que sa toute petite échelle permettra d'y percevoir – plus qu'ailleurs et « à l'œil nu » des phénomènes, habitudes, usages et mésusages quotidiens dont l'inflexion pourrait ensuite faire levier, bien au-delà de ses frontières.

Cette posture suppose une forme de décentrement/recentrement de la question posée par cette consultation et une méthode par aller et retour que nous présenterons ici en trois parties :

1. Un constat du territoire luxembourgeois réel, au quotidien

De ce constat est déduit les principes d'une *métrique de la transition* qui lie le CO₂ au Sol et au Temps ainsi qu'un premier portrait de l'empreinte écologique du Luxembourg dont les courbes suivent le fil de quelques matières choisies, et détaillent les circuits de l'alimentation et de la construction.

2. Des filatures construites sur un territoire abstrait

À partir de données luxembourgeoises, une démonstration par l'exemple prend ensuite en filature les circuits de production/transformation/consommation de quatre matières « en particulier » pour ensuite s'extraire du territoire réel et nouer des coalitions dans un territoire fictif mais semblable à celui du Grand Duché. Cet exercice permet d'éprouver la méthode qui sera reconduite en étape 2 sur un échantillon plus large de matières.

3. Des objectifs méthodologiques : retour au territoire réel

Une conclusion revient ensuite aux problématiques réelles du territoire transfrontalier du Grand Duché et présente les enjeux méthodologiques d'une telle approche et les problématiques qui seront posées par l'atterrissage territorial dans les étapes suivantes.

INTRODUCTION	5
L'air, le sol, le temps: pour une métrique située	7
Les transitions du Luxembourg: une histoire de matières et d'infrastructures	9
L'alimentation et la construction: des matières élémentaires	14
FILATURES	17
1. Matières: portraits de matières premières	19
2. Circuits	22
3. Trajectoires	24
4. Coalitions	29
5. Saisons: une trajectoire de décarbonation	33
FONDAMENTAUX MÉTHODOLOGIQUES	35
1. Le local élastique	36
2. Intrigues territoriales	38
3. Écologies	41
4. Projets-trajectoires: agir dans le temps et l'espace	43
MÉTHODOLOGIE ÉTAPES 2 ET 3	44
ANNEXES	46
Sources	47

Introduction

Les objectifs que se fixe le Grand Duché de Luxembourg en termes de transition écologique peuvent sembler considérables compte-tenu de la différence entre le point de départ (17,5 tonnes $\text{eqCO}_2/\text{hab}/\text{an}$) et le point d'arrivée en 2050 (1 tonne $\text{eqCO}_2/\text{hab}/\text{an}$ et), mais une fois déduit le tourisme à la pompe (15%) et la part des frontaliers qui viennent à la journée au Luxembourg (21%), les émissions directes du pays (11,2 tonnes $\text{eqCO}_2/\text{hab}/\text{an}$) sont déjà plus comparables à celles de ses voisins européens (6,6 pour la France, 10,4 Belgique et Allemagne). [Sources: Myfootprint et ADEME]

Certaines spécificités du Grand Duché le placent en tête des émissions européennes par habitant (un mix énergétique plus carboné lié au pétrole peu cher, une forte artificialisation des terres due à l'attractivité du pays, un bassin d'emploi transfrontalier avec peu de transports en commun), toutefois le Luxembourg partage un destin écologique semblable aux autres pays européens. Ses émissions de CO_2 et son impact sur la biosphère ont suivi à partir du XIX^e siècle la même trajectoire hyperbolique, l'industrialisation du pays alimentée par les énergies carbonées (charbon de bois, charbon, puis pétrole et gaz) a fait passer en un siècle le pays de la neutralité carbone à près de 40,6 tonnes $\text{eqCO}_2/\text{hab}/\text{an}$ en 1974 pour amorcer ensuite une descente ensuite à 17,5 en 2018.

Si la désindustrialisation des pays européens a fait fortement baisser leurs émissions directes (réduction de 56% en 44 ans), leur dépendance accrue aux importations a fait augmenter leurs émissions importées, ce qui fait que l'empreinte globale de leur population sur l'atmosphère terrestre reste très forte. Il faut aujourd'hui environ 900 000 hectares globaux (hag) de champs et prairies pour nourrir le pays, soit 5,5 fois plus que les surfaces dédiées à l'agriculture et l'élevage luxembourgeois. Les données sur l'empreinte carbone globale liée à la consommation réelle des luxembourgeois (émissions directes – émissions exportées + émissions importées) ne sont pas disponibles, mais l'empreinte du pays en nombre d'hectares planétaires permet de se faire une idée. Pour stocker tout le carbone émis par le pays, en 2017 il fallait 57 295 km^2 , soit 22 fois la taille du Grand Duché¹. Et la consommation alimentaire (2,19 hag/hab) dépassait largement la biocapacité des terres arables, pâturages du pays (0,83 hag/hab).

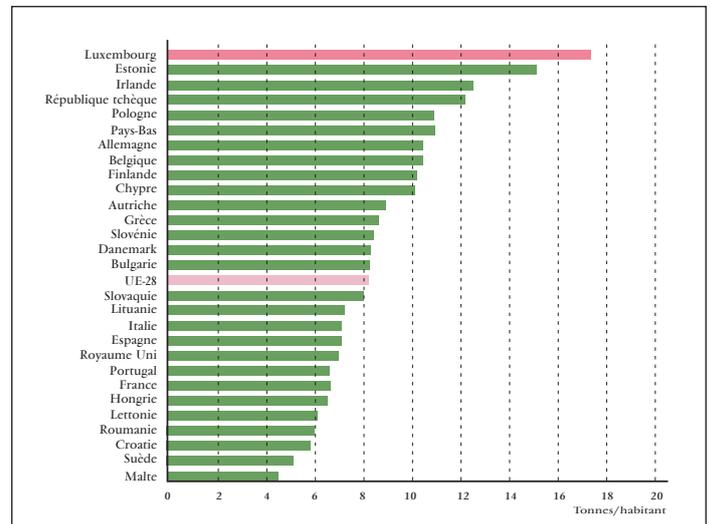


Fig 2. Émissions de gaz à effet de serre sur le territoire national en 2018, dans les pays de l'Union européenne. [Source: Insee.fr]

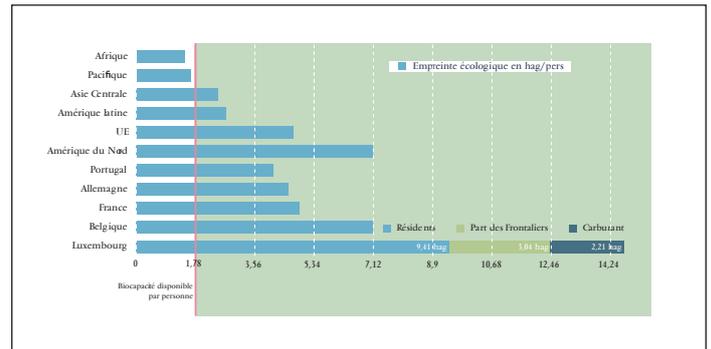


Fig 3. Comparaison de l'empreinte écologique du Luxembourg et évaluation de la part du tourisme à la pompe et des frontaliers, 2008. [Source: Myfootprint.lu]

Ce rapide tour d'horizon chiffré montre que la mesure de l'impact de nos modes de vie sur le réchauffement de la planète, et sa résilience est complexe. Elle n'est pas seulement une question de mix énergétique mais est profondément liée au fonctionnement d'un système productif territorial qui dépasse largement les frontières du Grand Duché et permet de faire vivre au quotidien ses habitants et travailleurs. La compréhension des enjeux écologiques actuels et la mise en route de la transition nécessite une métrique qui articule dans le temps, la mesure des quantités de gaz à effet de serre dans l'air, à celle des matières qui sont produites, prélevées puis transformées à partir du sol.

¹ 9,7 ha globaux/hab/an en 2017 × 590 667 hab = 57 295 km^2 soit 21,5 fois la taille du Luxembourg (2 586 km^2)

Cette année, les scientifiques de l'institut Weizmann ont calculé que la masse des produits fabriqués par les êtres humains (routes, bâtiments, produits manufacturés, etc.) avait dépassé celle de l'ensemble du monde naturel (plantes, arbres, organismes terrestres et marins).

L'augmentation de la masse de l'infrastructure humaine a été croissante tout au long du siècle dernier. Aujourd'hui estimée à 1,1 Tératonne (Tt), elle pourrait atteindre les 3 Tt en 2040, soit trois fois plus que la biomasse actuelle qui pèse 1 Tt. Cette progression vertigineuse, rendue possible par la mise en mouvement et la transformation accélérée des matières terrestres, est à l'origine de deux changements structurants dans l'équilibre biogéochimique de la planète : l'augmentation de la masse de CO₂ atmosphérique et la diminution de la biomasse (soit directement par l'artificialisation et la déforestation, soit indirectement par la pollution ou l'érosion des sols).

L'AIR ET LE SOL (kg et hectares)

L'air (l'ensemble des gaz composant l'atmosphère) et le sol (l'épaisseur terrestre habitable et vivante) sont avec les océans les grandes jauges de la bonne santé de la planète. La modification de leurs compositions chimiques et biologiques permet de mesurer le réchauffement climatique mais aussi la résilience de la Terre.

Deux principaux indicateurs permettent de suivre ces deux paramètres indissociables :

- l'empreinte carbone (en Tonnes d'équivalent CO₂/hab/an) informe sur l'évolution des gaz à effet de serre liée à la consommation matérielle annuelle d'un pays mais indique également indirectement l'état des sols et de la biodiversité du pays, car les émissions sont diminuées des capacités de stockage du CO₂ de la biomasse.
- l'empreinte écologique (en hectares globaux ou en nombre de planètes) mesure aussi le CO₂ équivalent liées à la consommation du pays mais y adjoint la quantité de surface de sol nécessaire à la consommation courante d'un pays (terres agricoles, pâturages, forêts, lieux urbanisés et surfaces de pêches), révélant ainsi l'épuisement des ressources biologiques et la baisse de la résilience environnementale.

LE TEMPS

(CO₂/années ou tonnes de CO₂ cumulées)

La qualité de l'air se mesure en temps réel, la quantité de gaz à effet de serre qu'il contient à un moment donné influe directement sur la température et les phénomènes climatiques terrestres. La qualité du sol, quant à elle, s'envisage sur un temps très long car elle est le reflet de la qualité de l'air. Le sol terrestre contient dans sa matérialité la mémoire de l'air : aux strates de matières accumulées dans les infrastructures humaines (urbaines et rurales) depuis le début de l'ère industrielle correspondent les millions de tonnes de gaz à effet de serre excédentaires, causes de la surchauffe actuelle. Mais le sol contient aussi l'avenir de l'air, de sa qualité actuelle dépendent les possibilités de stockage de CO₂ futures. En effet, il faudra de nombreuses années pour que les hectares de sols déforestés, dégradés ou pollués, puissent se régénérer et stocker à nouveau du dioxyde de carbone.

LE SOL EST L'AVENIR DE L'AIR

La réduction des émissions de CO₂ actuelles et futures est en premier lieu une affaire d'innovation technologique pour faire disparaître les « passoires carbonées » : ces infrastructures qui, tout au long de leur cycle de vie, produisent beaucoup trop de gaz à effet de serre. Cependant, préparer le futur nécessite aussi de gérer le stock passé. L'absorption des millions de tonnes de gaz à effet de serre accumulées durant les 200 dernières années (1350 Mt pour le Luxembourg) nécessite de penser différemment l'occupation du territoire en prenant les matières et leur pendant gazeux comme point de départ et comme horizon. L'aménagement des sols terrestres doit désormais composer avec deux types d'objets :

- les « fossiles du carbone », ces infrastructures de béton, d'acier, de verre ou de plastique qui structurent massivement nos paysages, qui ont déjà dégorgé des tonnes de CO₂ dans l'atmosphère, et dont l'optimisation évitera autant d'émissions de CO₂ futures.
- les « puits de carbone », ces prairies, champs, forêts, parcs, boulevards et jardins qui stockent le CO₂ dans la flore et la faune qu'elles abritent, et dont la préservation, voire la revitalisation, compensera d'autant les émissions de CO₂ futures.

La transition écologique oblige l'architecture à repartir des matières pour réinventer les liens, complémentarités et hybridations possibles entre ces deux types fondamentaux d'infrastructures.

Fig 4. La jauge air-sol-temps : une mesure de la transition située dans les lieux du quotidien

- ⊕ Les passoires carbone
- ⊕ Les fossiles du carbone
- ⊖ Les puits de carbone

Les passoires carbone

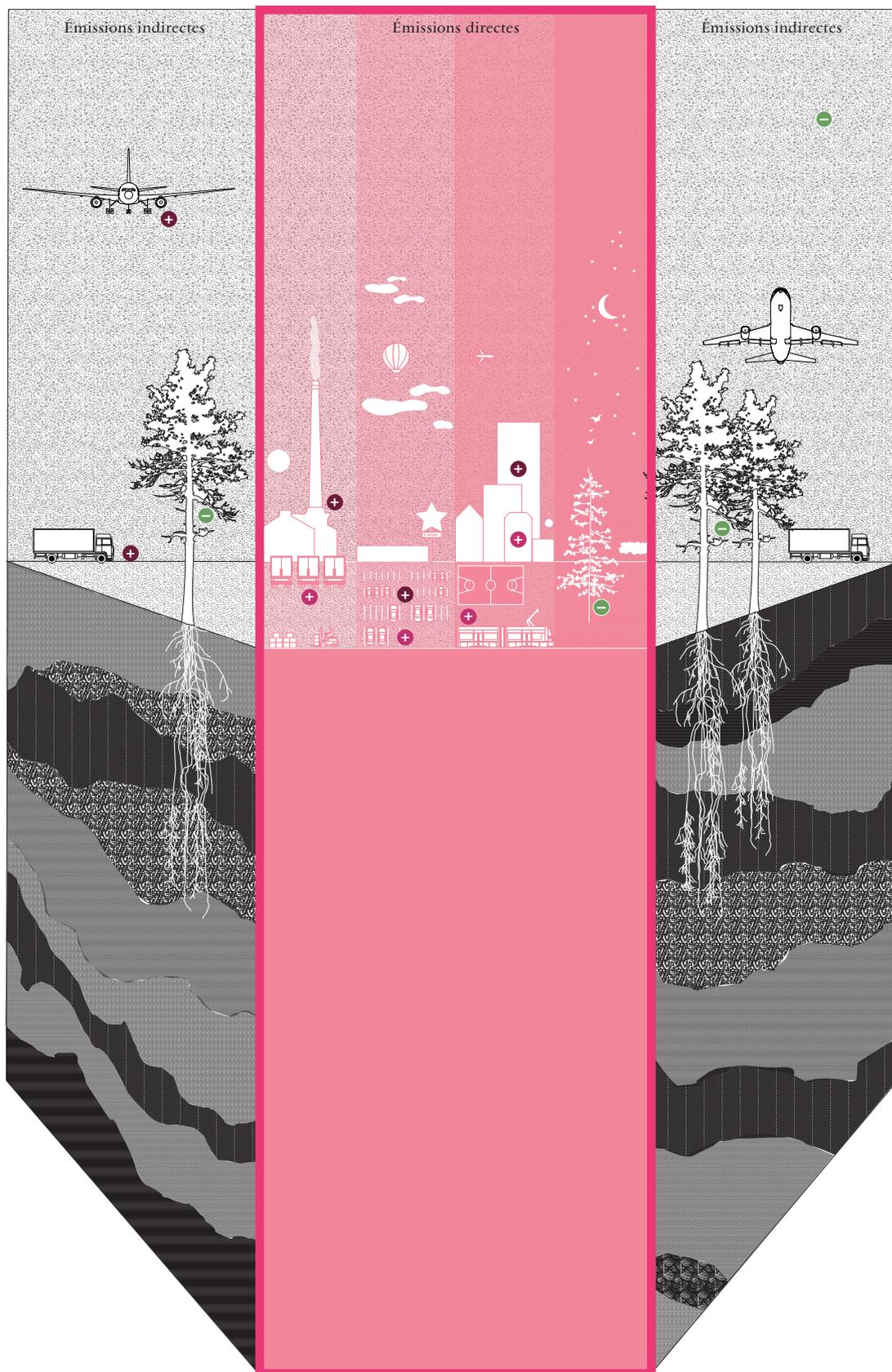
Infrastructures dont les émissions quotidiennes de gaz à effet de serre sont fortes. La mesure importante est celle de leur consommation (en t éqCO₂/hab/an).

Les fossiles du carbone

Infrastructures dont la construction a émis dans le passé des gaz à effet de serre. La mesure qui compte est celle des émissions de gaz à effet de serre cumulées sur toute la durée de construction (en t éqCO₂). L'allongement de leur durée de vie par réutilisation ou recyclage de leurs matériaux permet d'amortir d'autant leur empreinte passée.

Les puits de carbone

Infrastructures paysagères qui stockent du carbone (forêts, champs, prairies, sols). La mesure de leur empreinte comptabilise le carbone stocké par an (en t éqCO₂/hab/an), mais aussi le stock total de carbone (en t éqCO₂). Les changements d'affectation du sol font augmenter ou baisser le stockage. La quantité stockée dépend du mode de culture (monoculture, polyculture, labours ou paillis, rotation des sols, jachères, permaculture) et de récolte (coupe franches, coupes raisonnées, etc).



LES TRANSITIONS DU LUXEMBOURG: UNE HISTOIRE DE MATIÈRES ET D'INFRASTRUCTURES

Le passé du Luxembourg, et plus largement de tous les pays industrialisés, est lourd de CO₂. Le retour à la neutralité carbone du pays en 2050 – c'est-à-dire à un niveau d'émission annuelle compensable par la biocapacité du pays, est le nouvel épisode d'une histoire carbonée beaucoup plus longue, du rapport entre la composition de l'atmosphère et les matières du sol, leur déplacement et leurs assemblages.



Sosthène Weis, *Vue sur le Bockfiels* (1938)
et *Le Grund et la corniche* (1926).

ÂGE RURAL:

Nuages et labours

→ Neutralité carbone

Jusqu'au milieu du XIX^e siècle, le territoire luxembourgeois était essentiellement rural avec quelques petites industries disséminées (tanneries, manufactures textiles, faïenceries, forges à l'ancienne, papeteries, brasseries). L'agriculture encore traditionnelle, avec des petites exploitations, et des rendements faibles liés à la qualité médiocre des sols de l'Oesling notamment, qui n'assurent pas une bonne alimentation aux citoyens. Plus pauvre que les régions voisines, le territoire subit une forte émigration tout au long du XIX^e siècle.

PREMIÈRE TRANSITION

L'infrastructure de l'industrie (1839-1870)

→ +22 Mégatonnes éqCO₂

Lorsque le pays acquiert son indépendance en 1839, la progressive rupture de son isolement économique et géographique va le lancer sur la voie de l'industrialisation empruntée quelques décennies auparavant par ses voisins. L'adhésion rapide à l'union douanière allemande, la Zollverein, permet l'arrivée de capitaux et de main d'œuvre qualifiée. Elle permettra ainsi de développer les infrastructures de l'industrie, notamment le réseau ferré qui doit permettre de relier le bassin minier du sud du Grand-Duché aux bassins houillers lorrains et sarrois, afin d'assurer l'importation de charbon nécessaire à la modernisation des hauts fourneaux qui tournent encore au charbon de bois. La déforestation leur fournit 56 000 tonnes de bois permettant de produire 4,54 millions de tonnes de fonte, et fait augmenter entre 1845 et 1865, la surface des



Usine d'Esch-sur-Alzette

terres arables de 10332 ha, soit 9,6%. Après trente années d'infrastructuration, la première usine sidérurgique moderne ouvre en 1870 et le grand ballet des matières peut commencer. Le pays est désormais prêt à se lancer massivement dans l'exploitation industrielle de son territoire et la carbonation de l'atmosphère accélère.

ÂGE INDUSTRIEL:

Smog et dalles bétons (1870-1974)

→ +22 à +835 Mégatonnes éqCO₂

Les procédés techniques sidérurgiques s'améliorent rapidement et font augmenter les rendements, les hauts fourneaux ouvrent les uns après les autres sous l'égide de cinq sociétés sidérurgiques qui se créent dans le même temps entre 1870 et 1882. Dès 1914, le pays se classe parmi les six premiers producteurs mondiaux d'acier. La production dépasse le million de tonnes d'acier par an soit près de 2 millions de tonnes de CO₂/an libérées dans l'atmosphère par la combustion du charbon. Elle progressera jusqu'en 1974 où elle culmine à 6,5 millions de tonnes (soit environ 11,7 millions de tonnes de CO₂). Parallèlement à l'essor sidérurgique, la production de ciment à partir des déchets des hauts fourneaux (le laitier) se met en place (dès 1894) pour fournir le liant nécessaire à la fabrication du béton utile au développement des

installations industrielles et à l'urbanisation du pays. L'essor du secteur industriel entraîne un exode rural depuis les campagnes de l'Oesling au nord, puis une immigration massive jusqu'à aujourd'hui. Le secteur agricole moins lucratif subit alors une pénurie de main-d'œuvre qui perdure jusqu'aujourd'hui. Les rendements agricoles s'améliorent cependant au tournant du XX^e siècle grâce à l'utilisation des scories d'acier riches en phosphore et en chaux vive qui constitue un excellent engrais (22 770 tonnes en 1913). À partir des années 1950, l'agriculture s'intensifie encore plus et se spécialise dans la filière bovine – le cheptel bovin augmente de près de 100 000 têtes en vingt ans.

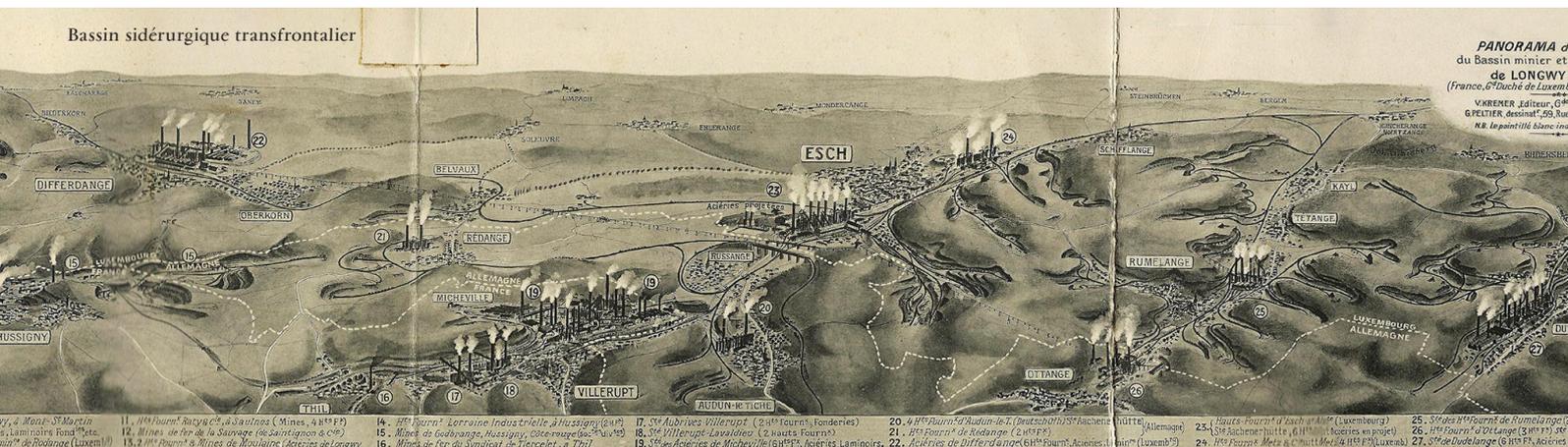
SECONDE TRANSITION:

L'infrastructure de la consommation globalisée (1974-1988)

→ +835 à +1016 Mégatonnes éqCO₂

À partir de 1974, suite au premier choc pétrolier, la sidérurgie européenne moins compétitive que celle du Brésil, de la Russie, de l'Inde et de la Chine entre en crise et s'amorce une rapide désindustrialisation du Grand Duché dont la production d'acier diminue presque de moitié en quinze ans, entraînant une baisse rapide des émissions intérieures de CO₂ qui passent de 40,5 à 23,9 tonnes/hab/an.

Au début des années 1980, notamment sous l'impulsion de politiques européennes, une réorientation des politiques industrielles du pays s'amorce (instauration de quotas laitiers qui stoppent la progression du cheptel et spécialisation accrue de l'agriculture dans la filière bovine et porcine, lancement du programme de satellites audiovisuels). Le secteur tertiaire lié au développement de la place financière débuté à partir des années 1960, atteint 70% de la valeur ajoutée en 1985. Pendant cette transition, la croissance démographique et l'urbanisation restent lente, mais le pays modernise considérablement ses infrastructures de transport avec la création de 48 kilomètres d'autoroutes (A3, A4, A6), le renforcement du réseau des routes nationales, et l'agrandissement de l'aéroport du Findel dont la piste passe de 2830 m à 4000 m en 1984, permettant l'accroissement du trafic passager et du fret aérien.



Ces infrastructures permettent l'import des matériaux et des biens de consommation nécessaires au pays, de plus en plus dépendant des importations du fait de sa désindustrialisation.

**ÂGE DE L'HYPERCONSUMMATION (1989-2020):
Clim' et asphalte**
→ +1016 à +1349 Mégatonnes éqCO₂

À la fin des années 1980, alors que la désindustrialisation minière se termine, les conditions sont réunies pour que le Luxembourg devienne le nouveau moteur économique de toute une région sinistrée par la désindustrialisation. Ce développement est marqué par une augmentation de 67% de la population entre 1989 et 2020 (passant de 374 900 habitants à 626 108 habitants). Cela contribue aussi à l'augmentation du volume bâti neuf de 94% entre 1989 et 2019 (de 3 862 000 m³ en 1989 à 7 473 000 m³ en 2019). Cette époque est aussi caractérisée par une plus grande dépendance du Luxembourg, tant en termes d'emploi (les travailleurs frontaliers ont été multiplié par quatre entre 1980 et 2017), que de consommation matérielle (98% de l'assiette est importée aujourd'hui – les filières bovines, laitières et porcines étant en revanche largement excédentaires). Ces deux phénomènes expliquent pourquoi les transports pèsent si lourd dans le bilan du pays. Avec la fermeture du dernier haut fourneau en 1997, les émissions de CO₂ liées à l'industrie ne représentent plus que 10% des émissions intérieures (1,4 tonnes de CO₂/hab/an) alors que celles liées aux transports dépassent les 50% (9,3 tonnes de CO₂/hab/an).

**TROISIÈME TRANSITION:
Décarbonation et résilience (2020-2050)**
→ +1349 à +1550 Mégatonnes éqCO₂

En 2020, après 180 ans d'essor industriel, démographique et urbain, le Luxembourg a émis 1349 Mégatonnes de CO₂ cumulées dans l'atmosphère terrestre (intérieures et extérieures). Le sol du Grand Duché – massivement infrastructuré et en partie pollué – et sa biomasse affaiblie, sont le témoin terrestre de ce bilan gazeux.

C'est cet héritage infrastructurel, ce sol «lourd» de CO₂, qu'il s'agit désormais de préserver, optimiser et transformer pour atteindre les objectifs de la transition écologique et ramener en 2050 le pays à la neutralité carbone comme le prévoit le Pacte européen pour le climat. Une part de cette baisse sera assurée par la décarbonation de l'énergie et des transports mais le reste nécessite de s'intéresser aux matières, à leurs modes de production, à la qualité écologique de leurs sols, et à leur circulation des bassins de production vers ceux de consommation.

Si trente années ont suffi pour construire l'infrastructure de la première industrialisation du Grand Duché, le challenge des trente années qui viennent sera d'utiliser les connaissances et techniques écologiques pour faire muter l'infrastructure de la société de l'hyperconsommation, et construire ainsi l'architecture d'un sol résilient.

[Émissions cumulées, source: Climatewatchdata.org]



Le plateau du Kirchberg

Fig 5. Évolution de l'inventaire carbone (production locale en tonnes de $\text{eqCO}_2/\text{hab/an}$) et des émissions globales de gaz à effet de serre du Luxembourg depuis 1970 et objectifs 2030 et 2050. [OCDE, EEA, Banque mondiale, Eurostat, STATEC]

- Consommation
- Production agricole
- Production construction
- Production manufactur
- Production transport
- Production énergie

Émissions globales

Les émissions globales sont liées à la consommation du pays (production locale + importations) et calculées à partir de la surface d'absorption nécessaire pour stocker le CO_2 lié à la consommation du pays (en hectares/hab/an) estimée par Global Footprint.

Alimentation

Exploitation animale, fermentation entérique, gestion du fumier, sols agricoles, fertilisants, combustion stationnaire dans le secteur agricole + Transports des produits agricoles et déplacements pour les besoins d'exploitation. L'industrie agro-alimentaire n'est pas comptabilisée.

Construction

Construction des bâtiments (individuels, collectifs, tertiaires et industriels). Transport des matériaux et des véhicules spécialisés.

Industrie

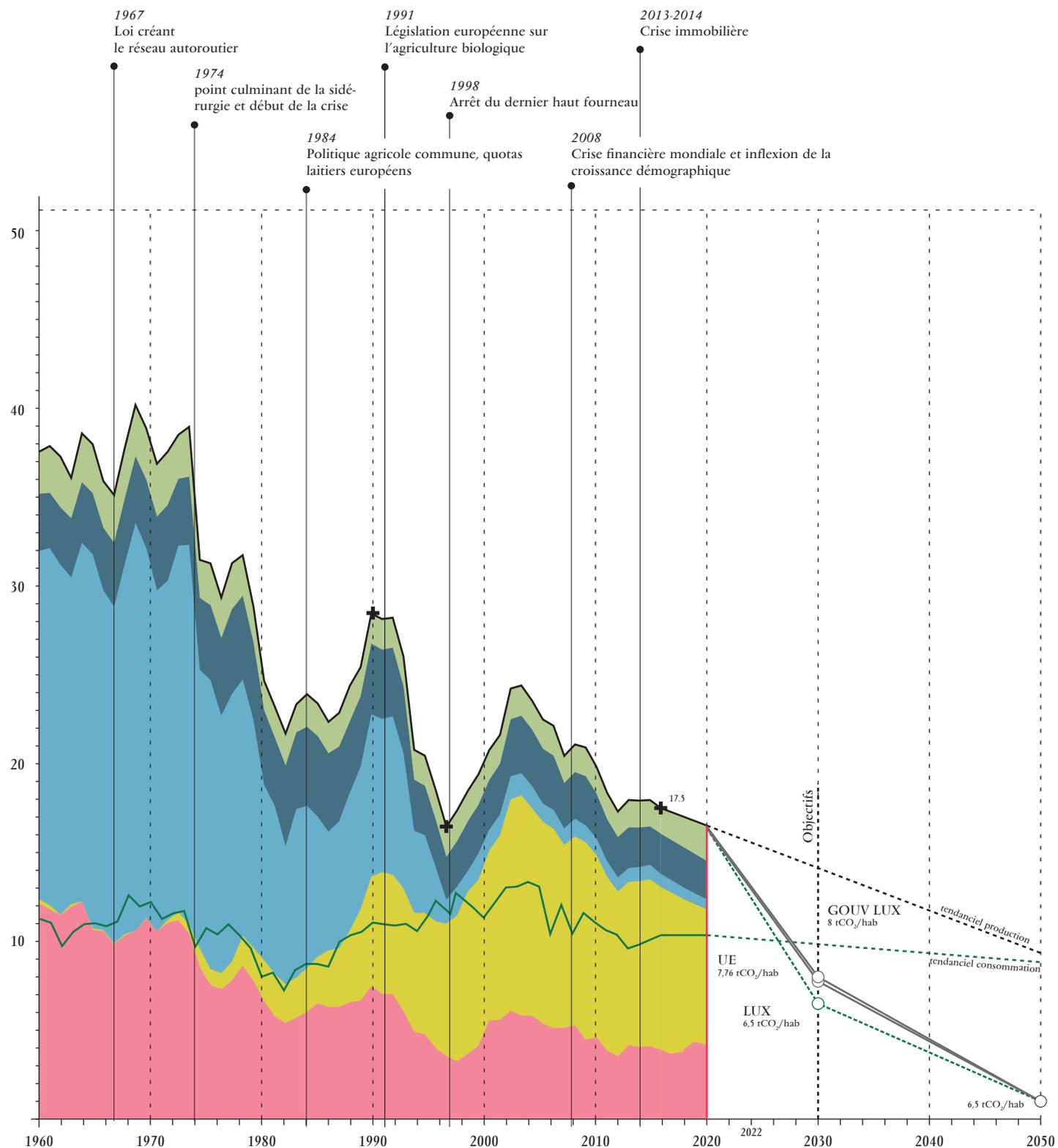
Procédés de combustion dans les industries (dont cimenteries et usines agroalimentaires)

Transports

Transport routiers nationaux et transfrontaliers, ferroviaires, fluviaux et de marchandises industrielles (hors agriculture et construction).

Énergie

Consommations d'énergie pendant la phase d'usage des bâtiments résidentiels et commerciaux. Chauffage urbain et de cogénération.



POIDS NET: 500 gr.

V & B OVENWARE

VILLEROY & BOCH
FAIENCERIE DE SEPTFONTAINES - LUXEMBOURG

GUYSE
Fontaine
ein kohlenstoffreies
Medizinalwasser

Vergessen Sie nicht Ihren Gratis-
gutschein bei Ihrem Epicier oder
Depositar einzulösen

FAU de TABLE GAZEIFEE = SOURCE DU HARDTBERG

RICH

MANUFACTURE DE BIJOUX ARGENTÉS
AUGUSTE RICHARD & C^o DIEBESCH, S.O. de Luxembourg

M. JUNCK WASSERBILLIG
15, RUE DUCHSCHER - TELEPHONE 100

CARRELAGE

WAND-, BODENPLATTEN, TREPPENPLATTEN
in allen Farben von

Cérabati
WASSERBILLIG

NACHDEUTSCHEM REINHETTSGEBOT GEBRAUT

ORIGINAL BRAUEREI F. DIECKIRCH AG LUXEMBOURG

Ardennen Export

MIT DEM GRÜNEN
SIEGEL DER NATUR

FLOCONS D'AVOINE
"ELMA"
CUISSON RAPIDE

Moulins Th. Cornély
Troisvierges

Ces flocons, fabriqués d'avance
supérieure dans une installation
moderne, ne se vendent qu'en
emballage original de moulin

POIDS NET: 1/2 KILO

**CHEMISCHE
REINIGUNG**

TEINTURERIE CAMILLE APPEL
Nettoyage à Sec
LUXEMBOURG

POIDS NET: 500 gr.

contrôle de l'Etat

Beurre de marque **Ettebruck**
pasteurisé garanti pur

SYNDICAT DE VENTE DES LAITIÈRES LUXEMBOURGEOISES
ETTEBRUCK - GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG

marque non salé déposée

POIDS NET: 500 gr.

ONSE BE'ER

ASS GUD



DAMPFBRENNEREI
**PRESSHEFE UND LIQUEUR-
FABRIK**

Henri SCHADEBERG
DÜDELINGEN Grossly, Luxemburg

DEPUIS 1764

BOFFERDING
Hlop
BÉIER

6x33cl

Die Möbelfabrik

D. SCHOU

AVENUE DE L'ARSENAL, LUXEMBOURG,
FABRIQUE: ROUTE D'ARLON,

empfiehlt sich zur Anfertigung aller Arten

Möbel & Sitzmöbel
in jedem Styl. — Anfertigung ganzer Einrichtungen,
stylgerechte Ausführung zu den billigsten Preisen.
Polstermöbel aller Art — Anfertigung von
Vorhängen, Portièren, Lambrequins, Storen, etc.
Möbelstoffen und dazu passende Franzen zu Fabrik-
preisen.
Zeichnungen und Preis-Courant nach Wunsch

CANADA DRY

SOURCE
Resport
au gaz naturel

Canada Dry Luxembourg
S.A. — Société Luxembourgeoise d'Eaux Gazeuses
et de Jus de Fruits
LUXEMBOURG-CLAUSEN

FABRICANT DES PRODUITS BIENIMEUR

Mightyplate

A BASE DE BISMUTH SPECIAL BREVETÉ

TRC

TEXAS REFINERY CORP.
ECHTERNACH

**ECHTERNACH
CITRON**

A BASE D'EAU MINÉRALE

**COFFRET
GRATUIT**

A L'ACHAT D'UN PACK
DE LA GAMME BATTIN

Battin Triple

Bière
à la bière

La Triple de Battin est une bière
fermentée en bouteille.
Sa finesse et son élégance
se caractérisent par des arômes fruités
et un parfum de houblon tout en nuances.
Venir avec douceur afin de laisser
dans la bouteille le dépôt de levure,
témoin de sa fermentation naturelle.

Emballage recyclable - Envoyé
à destination de préférence: ouvrir ses bouteilles
Mendicieux houblon bis: soûler flâches

**BOUILLON
KRIKOX**

le plus apprécié

**BOUILLON
KRIKOX**

FABRIQUE DE PRODUITS ALIMENTAIRES « KRIKOX »
WALFERDANGE • TEL. 85 • LUXEMBOURG

NETTOYAGE A SEC

NETTO



Peter Menzel, *Hungry Planet 2*. La famille de Nico et Loba Engel dans leur maison au Luxembourg.

COALITIONS

Cette rapide histoire montre la mise en place en moins de deux siècles d'un vaste mouvement de matières entrant et sortant du Luxembourg et parcourant des distances toujours plus grandes (minerais, bois, coke, fonte et acier et scories, d'abord, puis poudre de mine, cuirs, malt, orge, bière, tabac et cigarettes, céréales, vin, lait, viande bovine, et aujourd'hui, bois particule, panneaux solaires, carottes bios ou crevettes). On voit naître et disparaître des coalitions, comme celle entre la foresterie et l'aciérie ou encore la construction et l'agriculture; la forêt fournissant aux premières usines sidérurgiques du combustible, tandis que les déchets de celles-ci alimentaient pendant plusieurs décennies les cimenteries et venaient enrichir en phosphore les terres agricoles et améliorer les rendements. Là où les coalitions matérielles du passé étaient liées à des considérations économiques, indexées sur le prix de l'énergie, pour répondre aux objectifs de décarbonation de nos économies, les coalitions du futur vont dépendre de plus en plus fortement du prix du carbone – notamment

avec la montée en puissance du marché du carbone européen (European Union Emission Trade System). Il faut désormais compter avec le fait que toutes les matières premières ou transformées, ont un impact positif ou négatif sur la composition de l'atmosphère, et les équilibres du sol et du climat planétaire.

FILATURES

Notre équipe a décidé de prendre "en filature" les matières des circuits de l'alimentation et de la construction, deux circuits matériels indispensables à la vie quotidienne et directement impactés par la forte croissance démographique de la région fonctionnelle luxembourgeoise. Ainsi, à titre indicatif, de 1972 à 2018, 250 km² de terres du Grand Duché ont été artificialisés et on peut estimer que 550 km² supplémentaires seront construits d'ici à 2050.

De même que les matières de l'énergie sont en train de muter profondément (le lithium et l'hydrogène remplaceront le pétrole et le gaz), la composition des repas autant que celle des

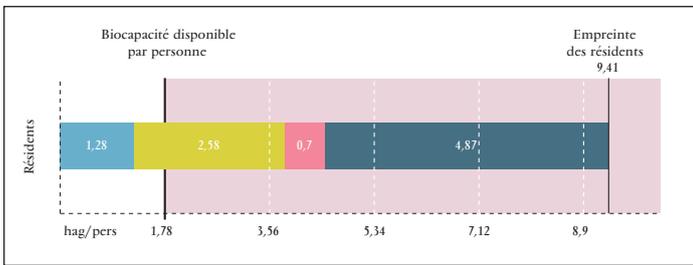


Fig 6. Répartition de l'empreinte écologique des résidents luxembourgeois par catégories (logement, alimentation, mobilité, produits non alimentaires et services) – 2008. [Source: Myfootprint.lu 2013]

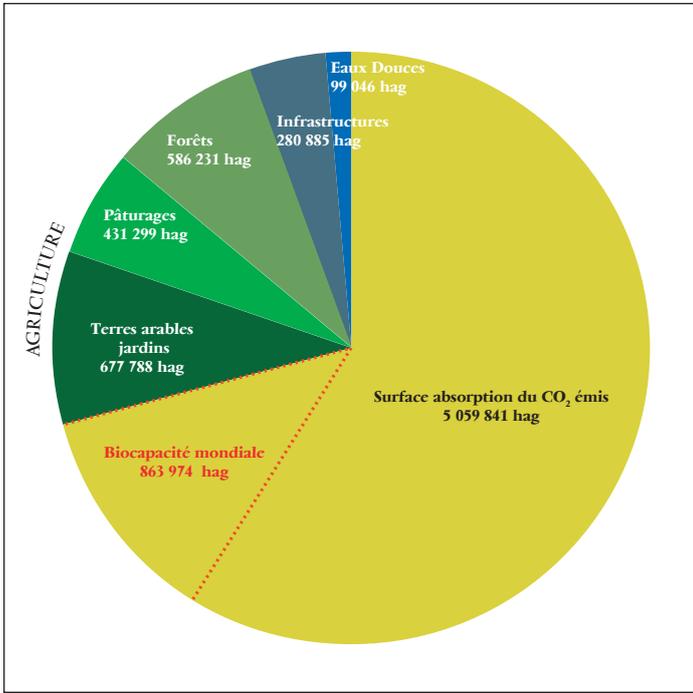


Fig 7. Empreinte écologique nationale du Luxembourg en hectares globaux – répartition par types de sols planétaires consommés. [Source: Myfootprint.lu 2013]

Peter Menzel, *Hungry Planet 2*. Maria Natercia Lopes-Furtado et son mari Ernesto Lopes Sanchez du Cap Vert dans leur cuisine à Rodange.



maisons va devoir évoluer, pour des matières moins énergivores et moins polluantes, favorisant le stockage du carbone plutôt que son échappement, meilleures pour la santé et le bien-être humain et animal, nécessitant moins de transport, plus facilement réutilisables ou recyclables.

Ces deux secteurs économiques représentent 21,2% des émissions directes de gaz à effet de serre du Grand Duché (13% pour la construction et 8,2% pour l'alimentation en comptant les transports dédiés, soit un total de 3,75 t éqCO₂/hab/an). À cette empreinte s'ajoute également les émissions des usines agroalimentaires, ainsi qu'une part de l'énergie consommée par les ménages et les villes (22,6% des émissions totales dont une part liée aux performances thermiques des bâtiments et une autre liée à la cuisine). Les circuits de l'alimentation et de la construction représentent ainsi environ ¼ des émissions directes du Luxembourg. De plus, ces secteurs sont massivement importateurs (98% de l'alimentation humaine ainsi qu'une partie des aliments des élevages bovins et porcins sont importés). L'impact extérieur de ces flux entrants, non comptabilisé dans les émissions directes, augmente d'autant plus la taille du nuage de carbone luxembourgeois qui s'étend bien loin sur d'autres pays, contribuant au réchauffement climatique et à la dégradation globale des sols planétaires.

Au-delà de l'évolution des modes de consommation et des types d'habitats, la réduction des émissions de gaz à effet de serre de ces deux circuits nécessite de croiser des questions d'innovation technologique :

- nouveaux matériaux (moins d'énergie = -t éqCO₂)
- amélioration du cycle de vie (plus de durée de vie = -t éqCO₂)
- nouvelles techniques de production (moins de labours = -t éqCO₂ et moins de coupes franches = +t éqCO₂)

avec des sujets d'intelligence territoriale :

- déplacements des matières (circuits moins longs et logistique optimisée = -t éqCO₂)
- l'occupation du sol (moins de surface artificialisée = -t éqCO₂ et plus d'arbres et haies = -t éqCO₂)
- l'optimisation des infrastructures de production, de stockage, de transformation, de distribution, de recyclage existantes (plus de valorisation des infrastructures existantes = -t éqCO₂ et plus de mutualisation = -t éqCO₂)

Pour atteindre la neutralité carbone en 2050 (soit une baisse de 85 à 90% des émissions directes des deux secteurs), une réflexion territoriale de fond doit être conduite pour réorganiser en profondeur les circuits alimentaires et constructifs et engager la transformation des sols qui en constituent l'infrastructure.

Fig 8 et 9. Évolution des émissions directes de gaz à effet de serre et de la consommation de ressources planétaires pour les circuits alimentaires et constructifs au Luxembourg entre 1960 et 2020, et objectifs 2050. [Sources: OCDE, EEA, Banque mondiale, Eurostat, STATEC, Global footprint network]

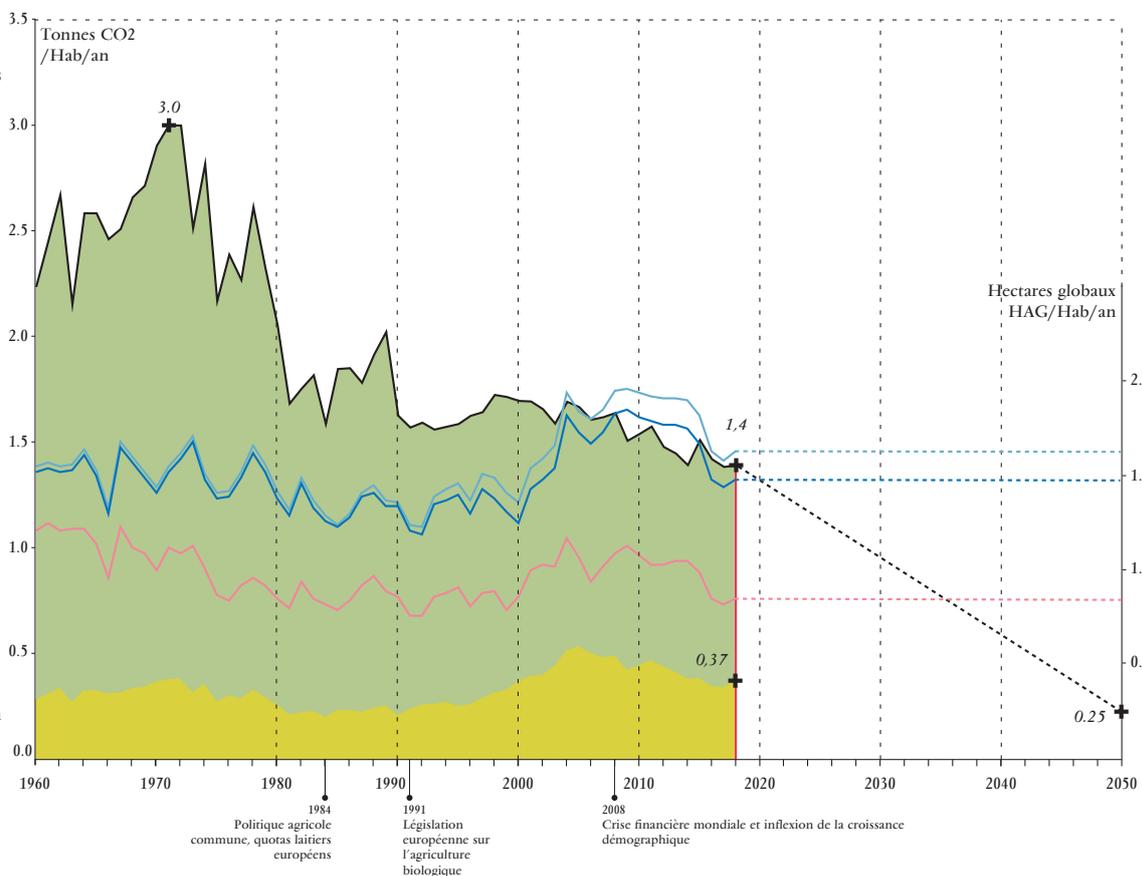
Alimentation

1. Évolution des émissions directes de gaz à effet de serre (1970: 3 t $\text{eqCO}_2/\text{hab/an}$ > 2018: 1,4 t $\text{eqCO}_2/\text{hab/an}$)

- Agriculture (75% en 2018)
- Transports alimentaires (25% en 2018)
- Total cumulé alimentation

2. Évolution de la consommation de ressources planétaires (1960: 2,27 ha globaux/hab, dont 0,7 pour stocker le CO_2 émis et 1,5 de ressources > 2017: 2,19 ha globaux/hab dont 0,6 pour stocker le CO_2 émis et 1,58 de ressources)
En 2017, l'empreinte liée à l'alimentation dépasse largement la biocapacité des terres arables et des pâturages du pays (0,83 hag/hab)

- Terres cultivées
- Pâturages
- Eaux de pêches



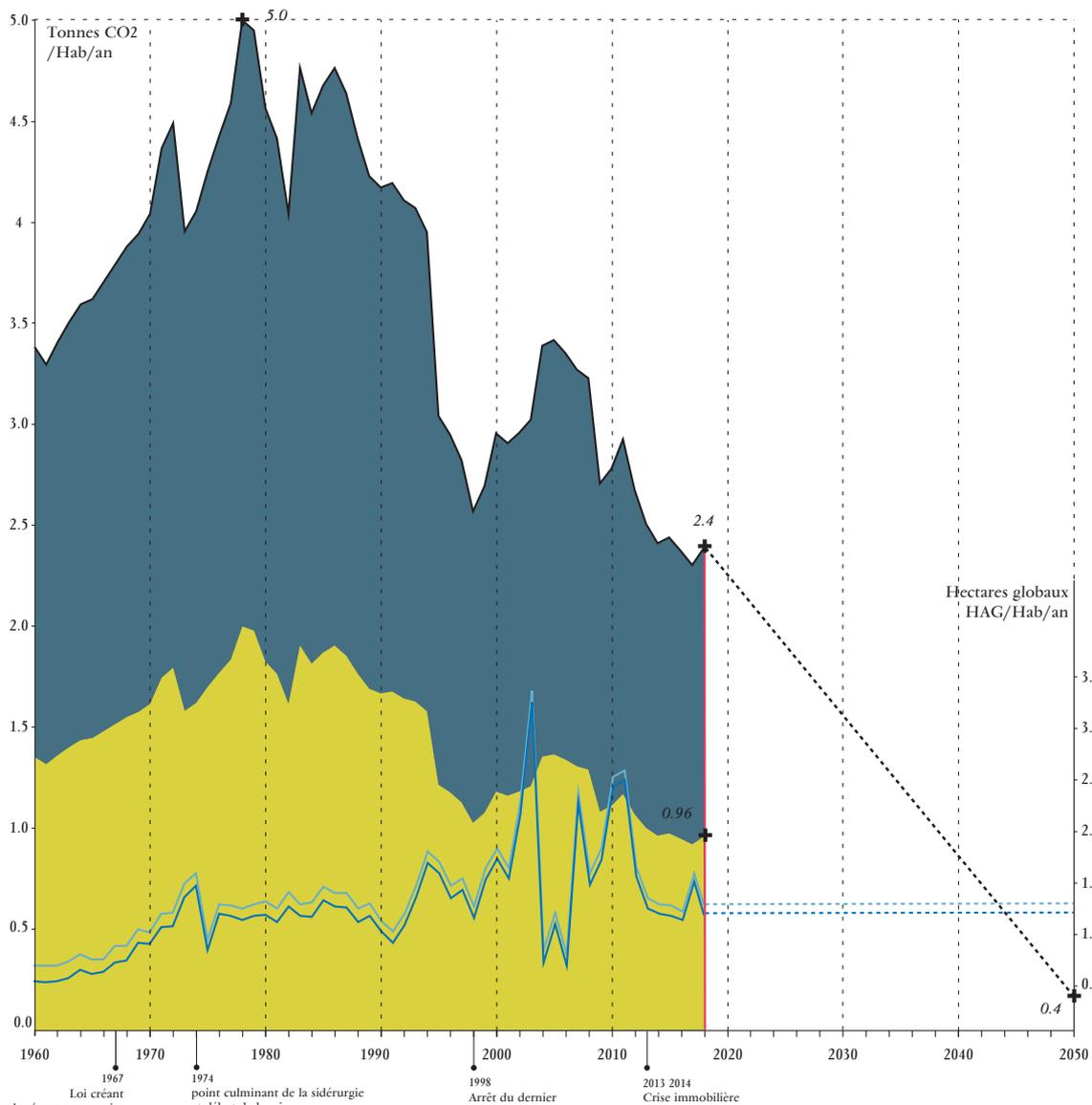
Construction

1. Évolution des émissions directes de gaz à effet de serre (1978: 5 t $\text{eqCO}_2/\text{hab/an}$ > 2018: 2,4 t $\text{eqCO}_2/\text{hab/an}$)

- L'industrie de la construction (60% en 2018)
- Transports construction (40% en 2018)
- Total cumulé construction

2. Évolution de la consommation de ressources planétaires (1960: 1,46 ha globaux/hab dont 0,84 pour stocker le CO_2 émis et 0,62 de ressources > 2017: 2,24 ha globaux/hab dont 0,73 pour stocker le CO_2 émis et 1,14 de ressources)
En 2017, l'empreinte liée à la construction dépasse largement la biocapacité des forêts luxembourgeoises (0,9 hag/hab).

- Terrains bâtis
- Produits forestiers (dont bois d'œuvre, bois de chauffage, papier)



Filatures

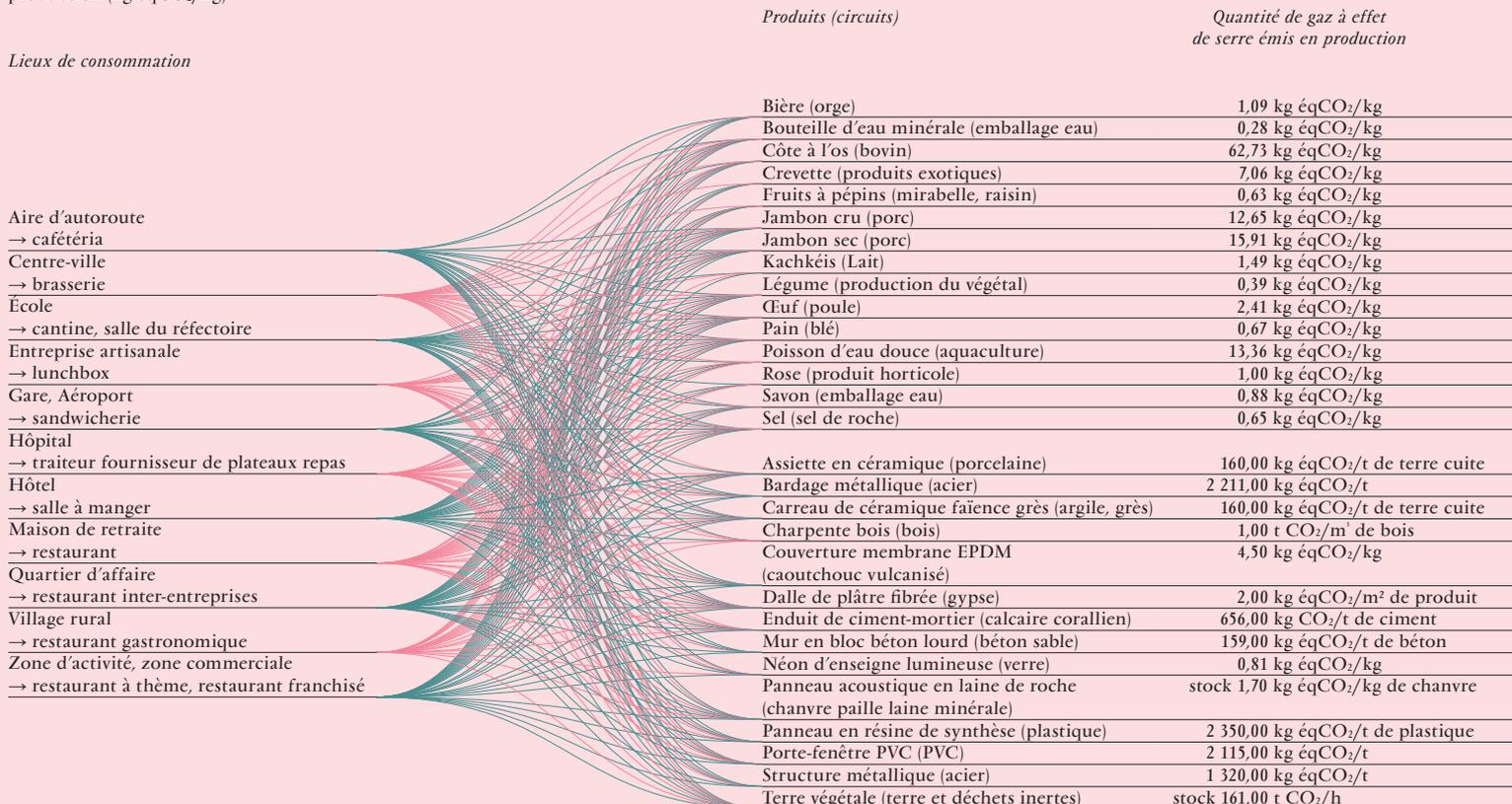
Dans cette première étape, afin de tester nos principes de métrique située et comprendre comment calculer l’empreinte des projets de transformation territoriale, nous avons mis en place une simulation à partir de quelques matières. Afin de choisir des matières représentatives de la production et de la consommation du Grand Duché, nous sommes partis des lieux structurants du quotidien luxembourgeois et avons réalisé un inventaire des principales matières alimentaires et constructives qui les composent et y transitent, afin d’y rechercher leur équivalent en CO₂/hab/an. Au sein de cet inventaire, nous avons sélectionné des matières fortement émettrices de gaz à effet de serre (bovin: lait & viande, béton: sable & ciment) et une matière à forte capacité de stockage de CO₂ (bois).

Nous avons alors pris en filature ces cinq matières pour comprendre comment elles participaient à la transformation des conditions écologiques de l’air et du sol. En remontant le circuit, en amont et en aval des lieux de consommation quotidienne, nous avons pu répartir l’empreinte écologique des matières à chacun des nœuds qui forment les étapes de leurs mutations (matière première/matériaux/produit/repas et objet architectural/déchet/ressource) et cela, en fonction des liens entretenus entre les nœuds.

Ce travail déterritorialisé mais illustré par les statistiques luxembourgeoises, permet de faire apparaître un paysage abstrait où les tonnes de matières consommées (t/hab/an) et leur empreinte en gaz à effet de serre (t éqCO₂/hab/an) s’articulent à l’espace des infrastructures dédiées (hectares de champs ou de forêts, kilomètres d’autoroutes, m³ de stockage).

Déployer ce système abstrait permet d’identifier des leviers d’actions sur les différents nœuds et liens de chacun des circuits (changements de techniques, de mode de consommation, réduction de la longueur des liens, augmentation des capacités de stockage de CO₂, amélioration de la résilience des sols, amélioration du cycle de vie, etc.). Pris ensemble, ils permettent de fixer des objectifs potentiels de réduction d’émissions de gaz à effet de serre pour les domaines de l’alimentation et de la construction et de faire apparaître des coalitions possibles entre les circuits matériels permettant d’améliorer l’empreinte globale sur l’air et le sol planétaire, tout en améliorant le cadre de vie et la vigueur des paysages luxembourgeois.

Fig 10. Échantillonnage des matières alimentaires et constructives consommées par les ménages luxembourgeois, et émissions de gaz à effet de serre lors de leur production (kg éqCO₂/kg).



1. MATIÈRES : PORTRAITS DE MATIÈRES PREMIÈRES

LAIT

Air

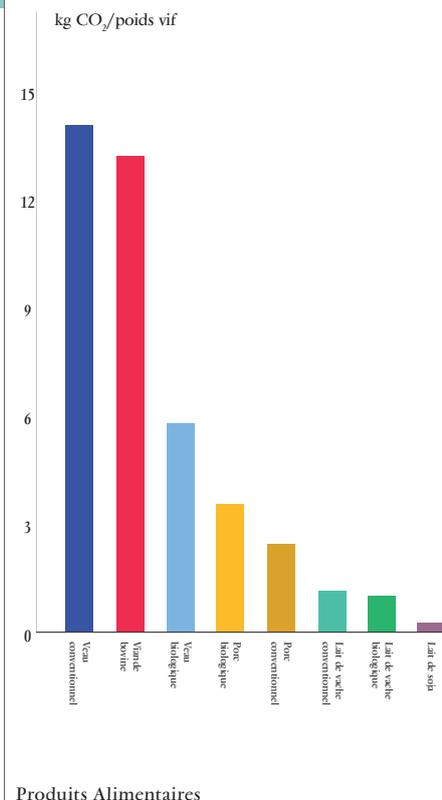
- Lait de vache classique = 1,63 kg eqCO_2/kg de produit
- Lait de vache biologique = 0,94 kg eqCO_2/kg de produit
- Lait de soja 0,7 kg eqCO_2/kg .
- 1 vache laitière = 8,25 tonnes eqCO_2/an
- Répartition des émissions de GES pour la consommation d'une brique de 1 litre de lait UHT classique (78,6% agriculture, 1,1% transformation, 11% emballage, 5,9% transport, 3,2% supermarché)

Sol

- Une vache adulte en élevage intensif consomme environ 40 tonnes de fourrage par an, soit la production de 5 ha de champs dédiés.

Temps

- Une vache laitière produit 25 litres de lait par jour
- Consommation du lait = 90,7 kg/hab/an (moyenne UE)
- Le lait peut être conservé entre 2 et 5 jours après son ouverture.
- Les vaches laitières sont tuées au bout de 8 ans, avant leur fin de vie (20 ans)



VIANDE

Air

- Viande Bovine = 13,1 kg eqCO_2/kg de poids vif
- Veau (conventionnel) = 14 kg eqCO_2/kg poids vif
- Veau (biologique) = 5,72 kg eqCO_2/kg poids vif
- Porc (conventionnel) = 2,42 kg eqCO_2/kg poids vif
- Porc (biologique) = 3,49 kg eqCO_2/kg poids vif

Sol

- 1 kg de bœuf = 13 500 litres d'eau et 10 025 kg de céréales, soit la production d'un champ de 1,36 ha.
- 35 millions de tonnes de soja importées par an dans l'Union européenne, correspond à environ 130 000 km² de champs de soja.

Temps

- Les viandes découpées se conservent 3 à 4 jours au réfrigérateur dans leur papier d'origine.
- En 2017, 85,9 kg de viande par personne/an dont 37,5 kg de viande porcine et 25 kg de viande bovine = 1047 tonnes $\text{eqCO}_2/\text{hab}/\text{an}$.
- Un bœuf d'élevage vit en moyenne 2 ans et un veau 6 à 8 mois.

BÉTON

Air

- Béton bitumineux = 55 kg $\text{eqCO}_2/\text{tonne}$
- Béton de ciment (routier) = 136 kg $\text{eqCO}_2/\text{tonne}$
- Ciment = 800 kg eqCO_2/t
- Terre crue = 55 kg eqCO_2/m^2 de bâti.
- Un équipement public moyen consomme 2450 m³ de béton, soit environ 550 t eqCO_2 .
- Répartition des émissions de GES du béton, 61% transport externe du sable – les vraquiers destinés au transport de marchandise en vrac comme le sable transportent de 500 à 120 000 tonnes. Un vraquier de 3000 tonnes équivaut à 120 voyages en camion.

Sol

- 1 m³ de béton = 280 kg de ciment, 140 kg d'eau, 1044 kg de gravier et 920 kg de sable – soit 2384 kg/m³.
- Autoroute : 30 000 tonnes de sable/km, soit la production d'une sablière de 3 ha.
- 70% des déchets du bâtiment sont constitués de béton et une partie est réutilisée pour les fondations de routes.

Temps

- La durée de vie moyenne d'un bâtiment en béton = environ 60 ans

BOIS

Air

- Bois = 1 tonne de CO₂ stockée/m³
- L'emploi d'une tonne de bois d'œuvre donne un crédit de 1850 kg eqCO_2 qui correspond à la teneur moyenne en CO₂ du bois.
- Un arbre est constitué de 50% d'eau et 50% de carbone

Sol

- 1 hectare de forêt continentale adulte contient entre 120 et 200 m³ de bois vivant, soit entre 120 et 200 t eqCO_2 stockées.

Temps

- Le chêne prendra de 160 à 180 ans pour attendre son âge de découpage alors que l'épicéa prendra 50 à 60 ans
- En moyenne un arbre stocke entre 20 et 35 kg de CO₂/an.
- Une forêt croît à un rythme de 5 à 10 m³/ha/an
- Un arbre de 5 m³ peut absorber l'équivalent de 5 tonnes de CO₂/an
- Un hectare de forêt géré correctement peut produire 10 m³ de bois de chauffage annuel, ce qui suffit à chauffer une maison.
- En fonction de l'essence, on compte 100 chênes à l'hectare ou 1000 plants à l'hectare [Source : <https://www.zimmersa.com/blog-forestier/densites-de-plantation-faire-les-bons-choix-n170/>]

[Sources : ADEME, Base carbone / Le Moniteur/ WWF Schweiz / TOTEM-building / ONF.fr / Ministère du développement durable / LUX]

Fig 11. Calcul des émissions de gaz à effet de serre de la filière laitière luxembourgeoise (en t $\text{eqCO}_2/\text{hab}/\text{an}$). [Sources: CMCA et Chambre d'agriculture française]

Décomposer le calcul de l'empreinte carbone de la production laitière du Luxembourg, en partant de l'alimentation moyenne d'une vache laitière revient à reconstituer un paysage imaginaire de 5 hectares de champs de maïs, de champs de blés, de soja... de pâturages, des usines chimiques d'engrais, et de rivières qui irriguent l'ensemble. Cet exercice de pensée soulève de nombreuses questions: où se situent ces champs? quelles distances les séparent? Quelles rivières les irriguent? Etc.

Le lait et la viande de bœuf au Luxembourg (inventaire)

La production de lait représente 25% de la production agricole totale du Luxembourg. C'est une filière qui regroupe 600 exploitants pour une production annuelle de 421 300 tonnes (STATEC 2019). Avec une densité de 120 000 litres par km^2 de production laitière, le Luxembourg est le premier producteur de la Grande Région.

- 193 575 bovins au total en 2019 dont 53 947 vaches laitières au Luxembourg
- En 2014, le Luxembourg avait 67 vaches par exploitation en moyenne
- En 2019, le Luxembourg a produit 421 300 tonnes de lait
- En 2014, 300 millions de litres de lait ont été livrés à l'industrie du Luxembourg dont seulement 1% en agriculture biologique
- La production d'un litre de lait coûte en moyenne 0,44€ et il rapporte 0,27€
- Le prix d'un litre de lait au Luxembourg est de 1,39€ en moyenne. En guise de comparaison, en France, il coûte 0,94€.

Sols:

- 56 696,59 ha de pâturages en 2019 au Luxembourg
- 84% de la surface agricole nationale pour les bovins

BILAN CARBONE D'UNE VACHE

ÉMISSIONS DE MÉTHANE (CH₄) DE LA VACHE (GAZ DE DIGESTION)

Une vache laitière émet de 90 à 160 kg de méthane par an, sachant que 1 kg CH₄ vaut 23 kg de CO₂. En moyenne une vache laitière émet $125 \times 23 = 2875 \text{ kg}/\text{CO}_2/\text{an}$.

ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE LIÉES À L'ALIMENTATION D'UNE VACHE:

Une vache mange 116 kg/jour soit 42 340 kg/an dont:

A. Pâturages:

Superficie de pâtures et prairies/vache en agriculture industrielle = 0,03 ha

Émissions de CO₂: 0 kg $\text{eqCO}_2/\text{vache}/\text{an}$

Stockage de CO₂:

- Quantité de CO₂ stockées par ha/an = 760 kg/ha [Institut de l'élevage]

- Quantité de CO₂ stockée/vache = $0,03 \times 760 = 22,8 \text{ kg eqCO}_2/\text{vache}/\text{an}$

B. Plantes fourragères 60 à 80 kg/jour soit en moyenne 25 550 kg/an:

Superficie de champs fourragers = 17,7 t de matière sèche/ha (TMS/ha)

- Hectares de champs fourragers pour une vache/an = $25,55 \text{ t} \div 17,7 = 1,44 \text{ ha}/\text{an}$

Émissions de CO₂: betterave fourragère et luzerne (0,25 et 0,216 kg eqCO_2/kg de produit soit en moyenne 0,233 kg eqCO_2/an)

Quantité de CO₂ émise: $25 550 \times 0,233 = 5 953,15 \text{ kg eqCO}_2/\text{vache}/\text{an}$

Stockage de CO₂:

- Quantité de CO₂ stockée par ha de champ fourrager/an = 1650 à 2200 kg eqCO_2 ,

soit 1925 kg eqCO_2 en moyenne

- Quantité CO₂ stockée/vache = $1925 \times 1,44 = 2772 \text{ kg eqCO}_2/\text{vache}/\text{an}$

C. Maïs fourrager: 23 kg/jour soit 8395 kg/an

Superficie de champs de maïs: rendement = 11,7 tonnes de matière sèche/ha (TMS/ha)

Hectares de champs maïs/vache/an = $8,395 \div 11,7 = 0,71 \text{ ha}/\text{an}$

Émissions de CO₂: 0,200 kg eqCO_2/kg de matière sèche

Quantité de CO₂ émise = $0,2 \times 8395 = 1679 \text{ kg eqCO}_2/\text{vache}/\text{an}$

Stockage de CO₂:

- Quantité de CO₂ stockée par ha/an = 1650 à 2200 kg CO₂ soit 1925 kg en moyenne

- Quantité CO₂ stockée/vache = $1925 \times 0,71 = 1366,75 \text{ kg eqCO}_2/\text{vache}/\text{an}$

D. Céréales (blé et orge): 13,92 kg/jour soit 5080 kg/an

Superficie de champs céréaliers: rendement = 7,37 TMS/ha

Hectares de champs céréaliers/vache/an = $5,08 \div 2,7 = 1,88 \text{ ha}/\text{an}$

Émissions de CO₂: Blé (0,728 kg eqCO_2/kg de produit) et orge (0,398 kg eqCO_2/kg de produit), soit en moyenne 0,563 kg CO₂

Quantité de CO₂ émise = $0,563 \times 5080 = 2860 \text{ kg eqCO}_2/\text{vache}/\text{an}$

Stockage de CO₂:

- Quantité de CO₂ stockée par ha/an = 1650 à 2200 kg CO₂ soit 1925 kg en moyenne

- Quantité de CO₂ stockée par vache/an = $1925 \times 1,88 = 3619 \text{ kg eqCO}_2/\text{vache}/\text{an}$

E. Tourteaux (soja, tournesol et colza): 6,96 kg soit 2540 kg/an

Superficie de champs oléagineux: rendement = 2,7 TMS/ha/an

Hectares de champs oléagineux/vache/an = $2,54 \div 2,7 = 0,94 \text{ ha}$

Émissions de CO₂: Soja (3,89 kg eqCO_2/kg de produit), tournesol (0,545 kg eqCO_2/kg de produit), colza (0,940 kg eqCO_2/kg de produit), soit en moyenne 1,79 kg eqCO_2/kg de produit

Quantité de CO₂ émise = $1,79 \times 2 540 = 4547 \text{ kg eqCO}_2/\text{vache}/\text{an}$

Stockage de CO₂:

- Quantité de CO₂ stockée par ha/an = 1650 à 2200 kg CO₂ soit 1925 kg en moyenne

- Quantité CO₂ stockée par vache /an = $0,94 \times 1925 = 1809,5 \text{ kg eqCO}_2/\text{vache}/\text{an}$

F. Eau potable: 30 à 90 L/jour soit en moyenne 21 900 L/an

Émissions de CO₂: $0,2029 \text{ g eqCO}_2/\text{litre} \times 21 900 = 4443,51 \text{ eqCO}_2/\text{vache}/\text{an}$

BILAN d'UNE VACHE

Pour nourrir une vache, on émet 22 357 kg/CO₂/an soit 22,3 tonnes $\text{eqCO}_2/\text{vache}/\text{an}$

Mais pour une vache, les 5 hectares de pâturages et de champs nécessaires stockent 9,59 tonnes $\text{eqCO}_2/\text{an}/\text{vache}$

Total = 12,71 tonnes $\text{eqCO}_2/\text{vache}/\text{an}$

ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE PAR HABITANT/AN

Consommation de lait = 90,7 kg/hab/ an (moyenne UE)

Production annuelle d'une vache laitière = 25 L/jour \times 300 jours (hors période de reproduction) = 7500 L/an

Pour sa consommation annuelle, un habitant a besoin de = $90,7 \div 7500 = 0,012$ vache

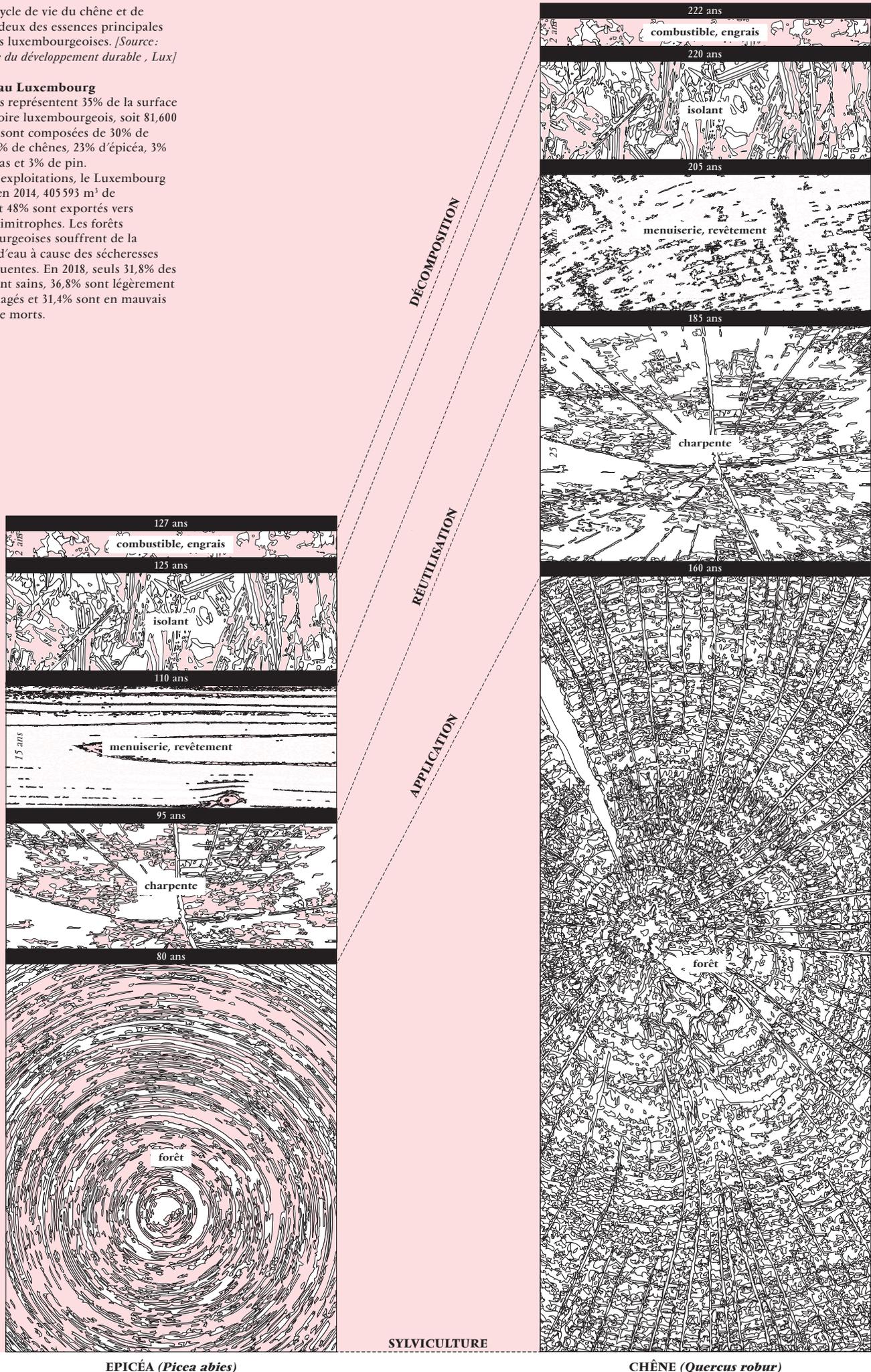
Soit $0,012 \times 12,71 = 0,15 \text{ t eqCO}_2/\text{an}/\text{habitant}$ et 0,06 hectares

Fig 12. Cycle de vie du chêne et de l'épicéa, deux des essences principales des forêts luxembourgeoises. [Source: Ministère du développement durable, Lux]

Le bois au Luxembourg

Les forêts représentent 35% de la surface du territoire luxembourgeois, soit 81,600 ha. Elles sont composées de 30% de hêtre, 28% de chênes, 23% d'épicéa, 3% de douglas et 3% de pin.

Avec 302 exploitations, le Luxembourg produit en 2014, 405 593 m³ de bois dont 48% sont exportés vers les pays limitrophes. Les forêts luxembourgeoises souffrent de la pénurie d'eau à cause des sécheresses plus fréquentes. En 2018, seuls 31,8% des arbres sont sains, 36,8% sont légèrement endommagés et 31,4% sont en mauvais état, voire morts.



EPICÉA (*Picea abies*)

CHÊNE (*Quercus robur*)

2. CIRCUITS : ALIMENTATION

Lait et viande au Luxembourg

Production

- En 2017 la production nette de bovins était de 9643 tonnes poids carcasse (dont 17 037 de production indigène brut, 1199 d'animaux importés et 8592 animaux exportés)
- Le Luxembourg a importé 8867 tonnes poids carcasse de viande et a exporté 3670 tonnes de poids carcasse.
- Entre 15 000 et 25 000 tonnes de tourteaux de soja importé d'Amérique du Sud
- En moyenne, le lait luxembourgeois voyage 600 km : 50% au Luxembourg et 50% à l'étranger (Danemark et Belgique)
- La viande bovine produite au Luxembourg voyage en moyenne 110 km (Belgique et Luxembourg).

Consommation

- En 2017, le Luxembourg a importé 341 millions d'euros en produits comestibles d'origine animale

[Source: STATEC]

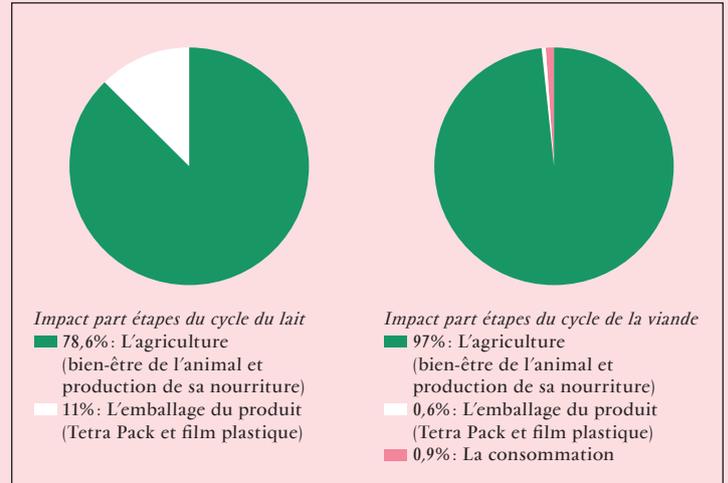


Fig 13. Répartition des émissions de CO₂ dans le circuit du lait et de la viande bovine. [Source: STATEC]

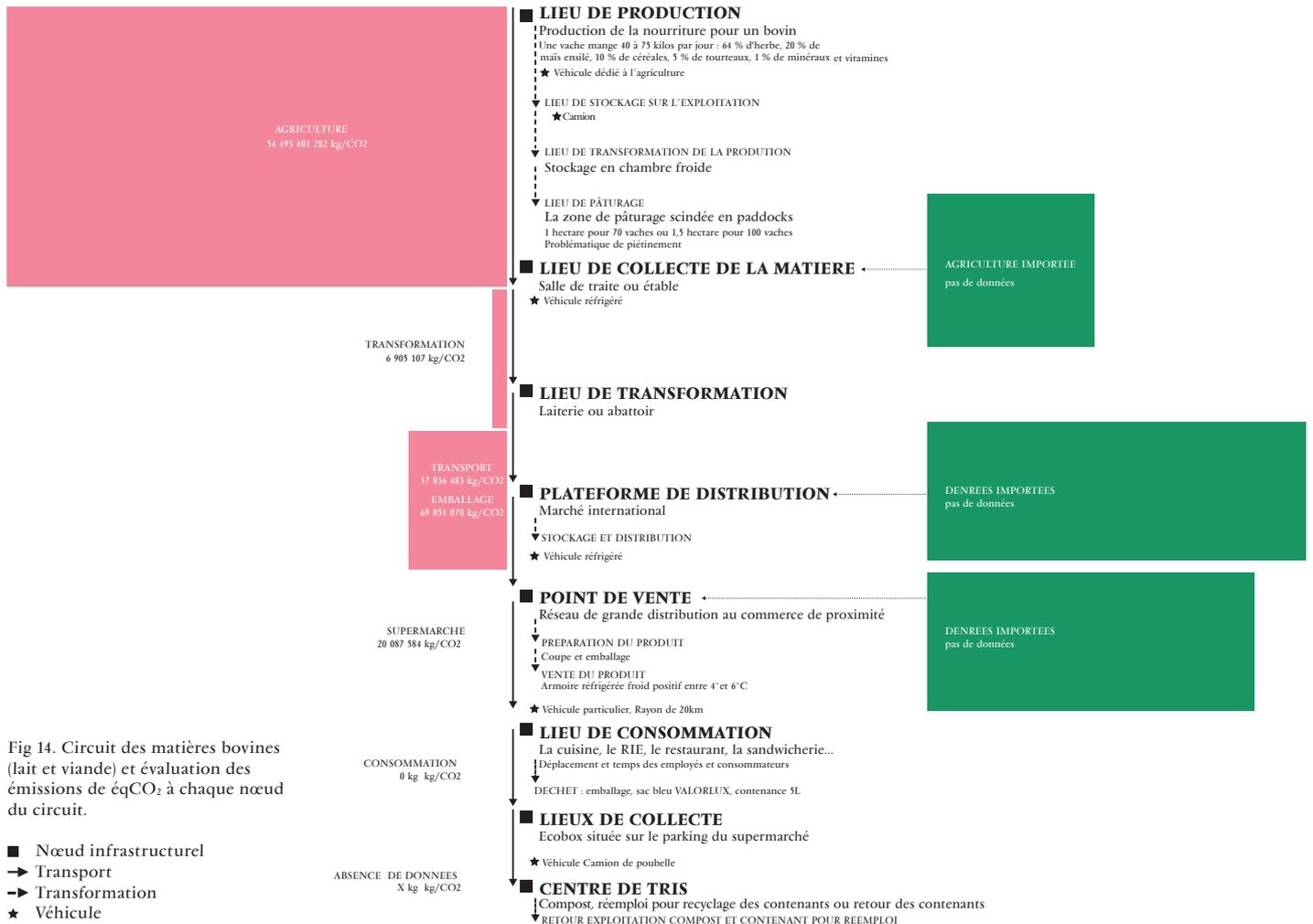


Fig 14. Circuit des matières bovines (lait et viande) et évaluation des émissions de eqCO₂ à chaque nœud du circuit.

2. CIRCUITS : CONSTRUCTION

Béton et bois au Luxembourg

Production

Bois

- 72 millions de tonnes de CO₂ sont stockées dans les forêts luxembourgeoises, ce qui correspond à environ sept années d'émissions de CO₂ par l'ensemble de l'activité économique et sociale du pays
- Le Luxembourg récolte 3,6 millions m³ (882,000 ha soit 37%) de bois brut de la Lorraine (France), 0,6 millions m³ (103,000 ha soit 40%) de bois brut de Sarre (Allemagne), 6,3 millions m³ (840,000 ha soit 42%) de bois brut de Rhénanie-Palatinat (Allemagne), 4 millions m³ (556 000 ha soit 33%) de bois brut de Wallonie (Belgique) et 0,5 millions m³ sont produits au Grand-Duché
- Avec 302 exploitations, le Luxembourg produit en 2014, 405 593 m³ de bois dont 48% sont exportés vers les pays limitrophes.
- Le bois produit au Luxembourg voyage 300 km au maximum
- 72 millions de tonnes de CO₂ sont stockées dans les forêts luxembourgeoises, ce qui correspond à environ sept années d'émissions de CO₂ par l'ensemble de l'activité économique et sociale du pays.
- 224 076 tonnes de CO₂ stockées par les sols et forêts en 2018.

Béton

- En 2014, le Luxembourg a produit 1057 571 tonnes de ciment, une partie est exportée.
- En 2016, sur 40 millions de tonnes de déchets du secteur du bâtiment, le Luxembourg a récupéré 25210 tonnes de déchets inertes, dont 15126 tonnes de béton (70%), le reste étant des tuiles, briques, etc.
- Le sable luxembourgeois voyage 400 km au maximum.

Consommation

Bois

- 379 700 m³ de résineux importés des pays limitrophes
- 750 000 m³ de bois produit/an et 500 000 m³ de bois exploité/an au Luxembourg

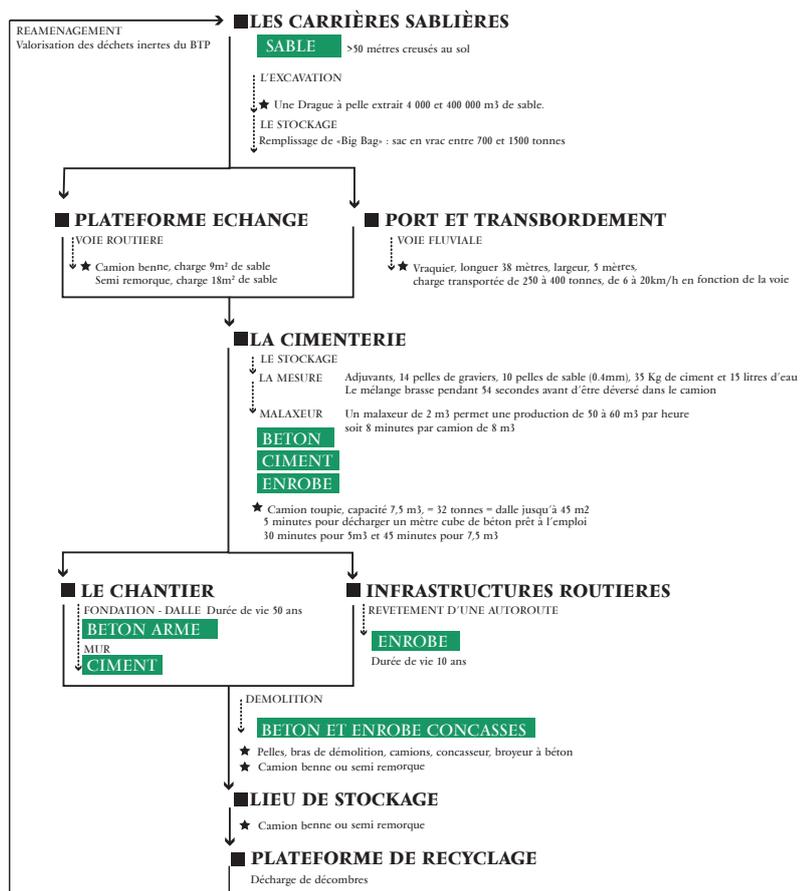
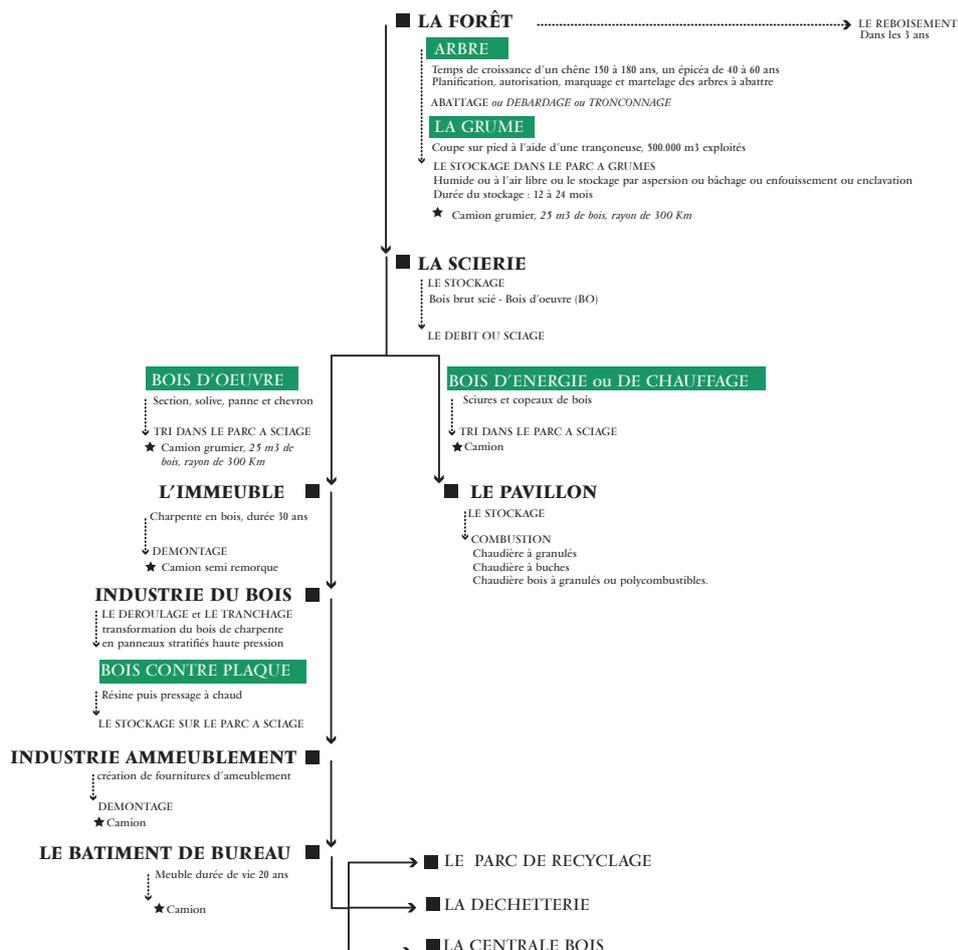
Béton

- La consommation de ciment par habitant au Luxembourg est de 1221 kg par habitant quand en Europe la moyenne est de 528 kg
- En 2020, la Belgique et le Luxembourg représentaient environ 11% du total des importations de sable mondiales

[Source: STATEC]

Fig 15 et 16. Circuits des matières de construction (bois et sable et ciment) et évaluation des émissions de CO₂ éq à chaque nœud du circuit.

- Nœud infrastructurel
- Transport
- Transformation
- ★ Véhicule



3. TRAJECTOIRES

TENDANCES

Depuis le recul de l'industrie minière et sidérurgique, le lait, la viande et le ciment sont parmi les matières produites au Luxembourg qui émettent le plus de gaz à effet de serre. À partir des années 1960, la filière bovine s'est tournée vers un modèle intensif (doublement des rendements laitiers, augmentation du nombre de bêtes par exploitants, réduction la part de pâturages au profit d'une alimentation des bêtes en étable...) qui a participé à la dégradation des sols arables du pays, réduisant leur capacité de stockage de CO₂ et leur biodiversité. Dans le même temps, la population du Grand Duché a doublé passant d'environ 313 000 habitants en 1960 à près de 614 000 en 2020, et le phénomène vaut aussi pour la région fonctionnelle transfrontalière. L'artificialisation des terres liée à ce boom démographique et la production de ciment et de sable nécessaire à l'expansion des villes du pays ont augmenté d'autant sa dette carbone. Les forêts sont restées relativement stables en surface mais ont été fragilisées par les sécheresses plus fréquentes, réduisant leur capacité de compensation des émissions de gaz à effet de serre du Grand Duché.

Selon les perspectives de la STATEC, le boom démographique devrait se poursuivre pendant au moins cinquante ans avec une augmentation de la population entre 24,5 et 32,8% à horizon 2030 et un quasi doublement de la population qui atteindrait entre 1 000 000 et 1 200 000 habitants, dont 250 000 à Luxembourg-Ville.

OBJECTIFS

Malgré la réduction attendue des GES liée à la décarbonation progressive de l'énergie utile à ces deux circuits (transformation, logistique, stockage), la croissance démographique devrait entraîner une augmentation de la consommation alimentaire et de matériaux de construction et des émissions de GES intérieures et extérieures inhérentes à ces circuits. De plus, la forte artificialisation des sols devrait réduire le stockage possible de CO₂ sur le territoire luxembourgeois, augmentant d'autant le bilan des émissions directes du pays, sans compter l'appauvrissement des sols et la perte de biomasse due aux sécheresses qui seraient plus fréquentes. En admettant par exemple que la part des transport dédiés aux deux circuits soit réduite à zéro en 2050, sans projet de décarbonation les émissions directes de CO₂ liés à la production agricole et aux matériaux de construction resteront bien supérieures – environ 2,5 t éqCO₂/hab/an – à l'objectif global tous secteurs confondus fixé à 1 t éqCO₂/hab/an pour 2050.

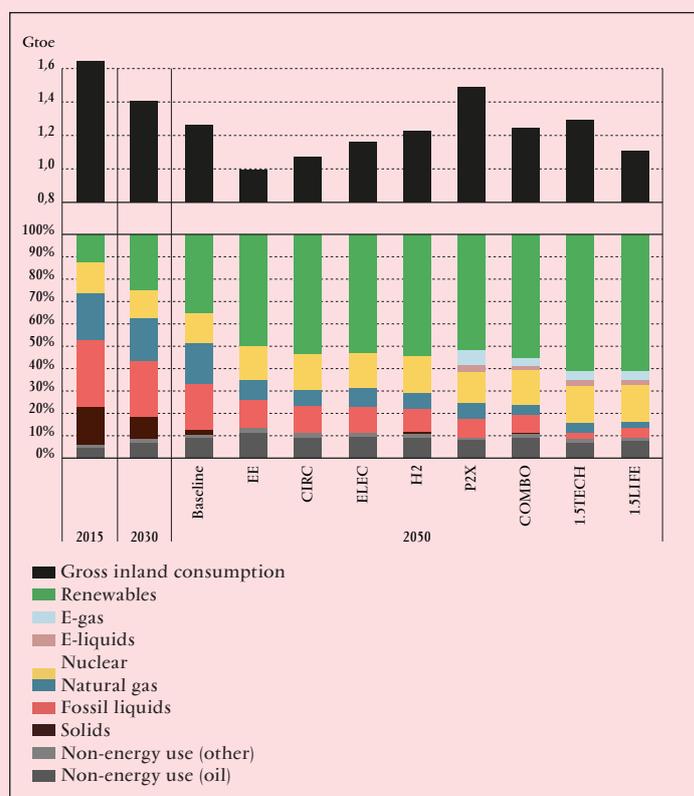


Fig 17. Objectifs de décarbonation du mix énergétique à horizon 2050 [Sources: Eurostat (2015) / PRIMES]

Les objectifs européens prévoient en effet une réduction de la part des énergies fossiles de 75% à 55% en 2030 et 20% en 2050, soit une baisse de 80% de gaz à effet de serre pour le secteur de l'énergie (chauffage et électricité) en 2050 et -90% de gaz à effet de serre pour l'énergie dédiée au transport.

Fig 18. Évolution des émissions directes de gaz à effet de serre du circuit de l'alimentation et part respective des matières apportant des protéines animales (filières bovines, laitières, porcines et œuf) de 1960 à 2018 et objectifs 2050 (en t $\text{eqCO}_2/\text{hab}/\text{an}$). [Sources : OCDE, EEA, Banque mondiale, Eurostat, STATEC]

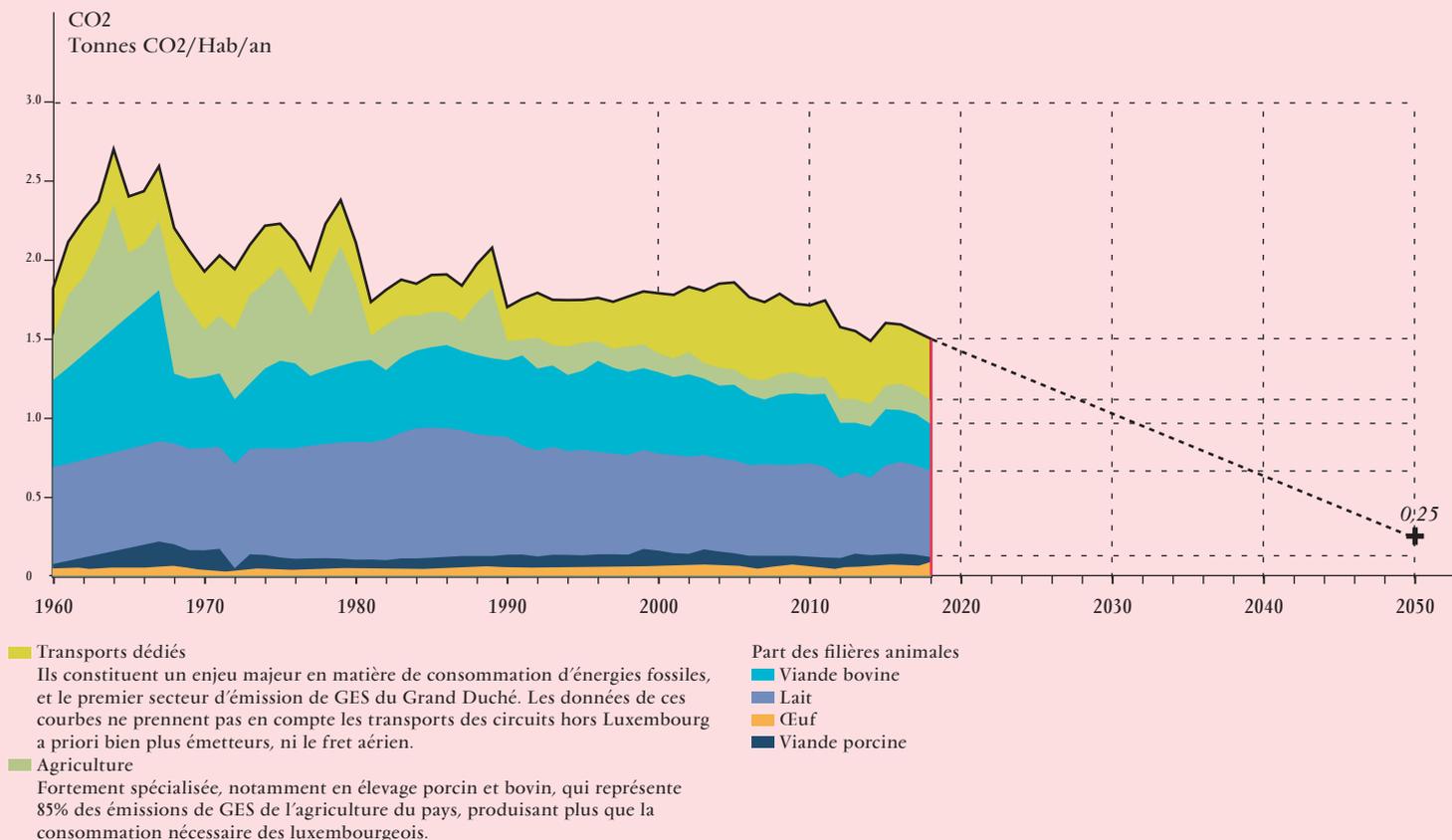
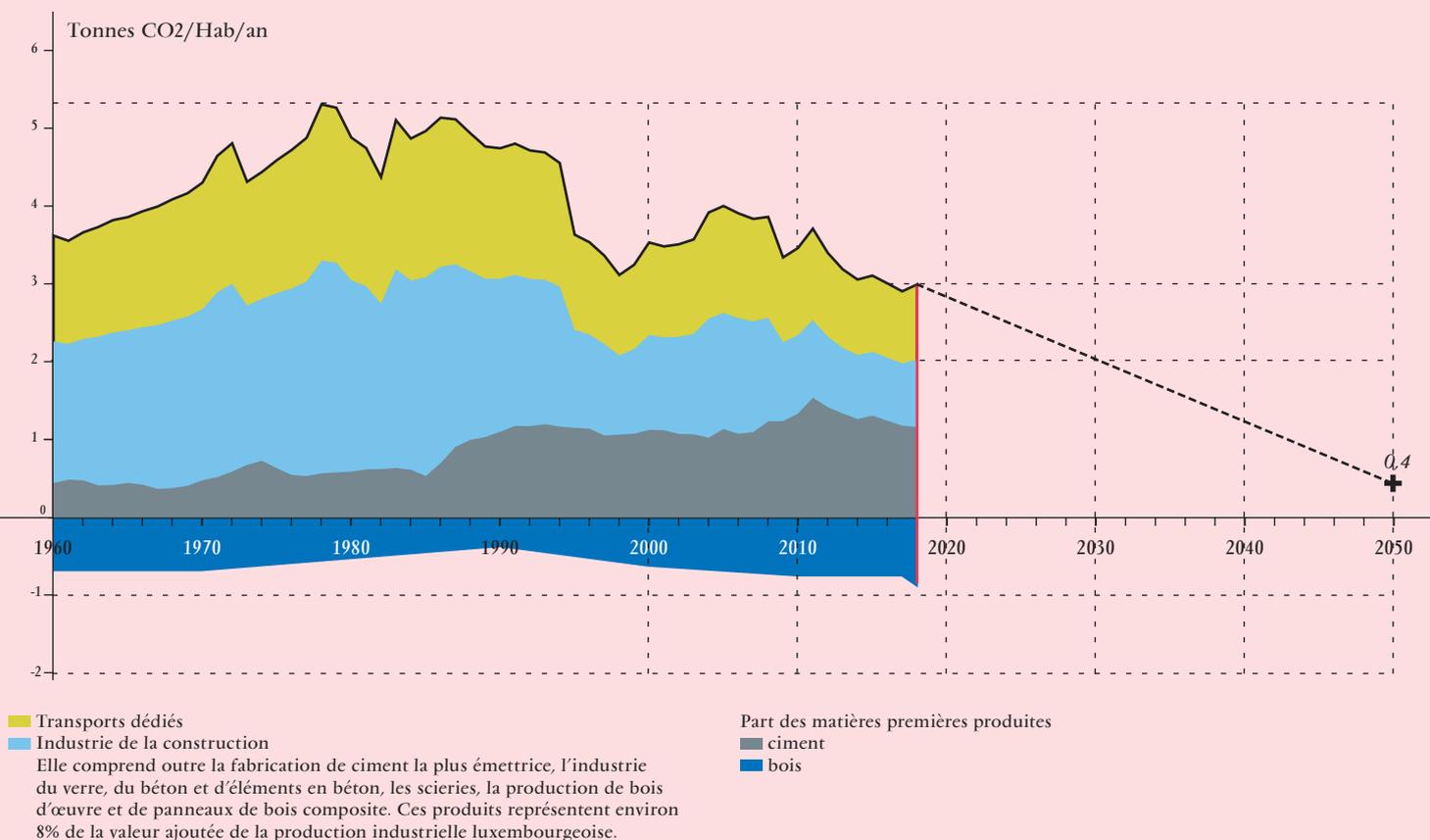


Fig 19. Évolution des émissions directes de gaz à effet de serre du circuit de la construction et part respective du bois et du ciment de 1960 à 2018 et objectifs 2050 (en t $\text{eqCO}_2/\text{hab}/\text{an}$) [Sources : OCDE, EEA, Banque mondiale, Eurostat, STATEC]



TRAJECTOIRES CROISÉES

Vu les parts respectives du lait, de la viande et du ciment dans les émissions directes de l'agriculture et de l'industrie de la construction, et vu leurs poids respectifs en CO₂, il apparaît évident que la réduction des gaz à effet de serre des circuits alimentaires et constructifs passera en partie par une réduction de la consommation de produits bovins et de béton, et donc une diversification des productions alimentaire et des matériaux de construction au profit de matières moins émettrices. Ce constat conduit à imaginer des scénarios qui croisent différentes matières alimentaires et constructives pour inventer de nouvelles coalitions entre matières et entre circuits.

La baisse globale des émissions directes des deux circuits jouerait alors sur plusieurs leviers de transformation (évolution des modes de consommation alimentaire et constructive, augmentation du stockage de CO₂ dans les sols par la plantation d'arbres et de haies, limitation de l'artificialisation des sols, rationalisation des circuits...).

Pour cette première simulation hors-sol, nous nous sommes basés sur les trajectoires proposées par le scénario Aafterres2050 réalisé par l'association Solagro¹, qui part de considérations nutritionnelles, d'écologie des sols, pour réorienter l'agriculture et la sylviculture et réduire de moitié leur empreinte climatique. En valorisant les productions de matériaux biosourcés et de bioénergies (20% de la production primaire), le scénario a également un impact sur les transports dédiés et les circuits de la construction. Il conduit à réinventer l'ensemble des modes productifs et leurs orientations.

¹ Solagro, Christian Couturier, Madeleine Charru, Sylvain Doublet et Philippe Pointereau, *Aafterres2050, le scénario 2016*, Solagro, Toulouse, 2016

Formules des trajectoires de décarbonation

Émissions de CO₂ alimentation 2050 = CO₂ alimentation 2018

- (X% de baisse du cheptel bovin)
- (X% de baisse énergétique pour production, transformation et stockage)
- (X% de baisse de l'énergie dédiée aux transports par optimisation des circuits)
- + (X% de hausse de surface de prairies et pâturages)
- + (X% de bois en haies et agro-foresterie)

Émissions de CO₂ construction 2050 = CO₂ construction 2018

- (X% de réduction d'artificialisation - optimisation des formes urbaines)
- (X% de baisse de l'emploi de béton)
- (X% de baisse de l'énergie dédiée aux transports - meilleur cycle de vie, et matériaux locaux)
- + (X% de hausse de l'emploi de bois d'œuvre)
- + (X% de hausse des arbres urbains)

En partant des besoins nutritionnels et des impératifs de santé, le scénario prévoit une réduction de 20% des apports en protéines animales et de 40% des produits laitiers.

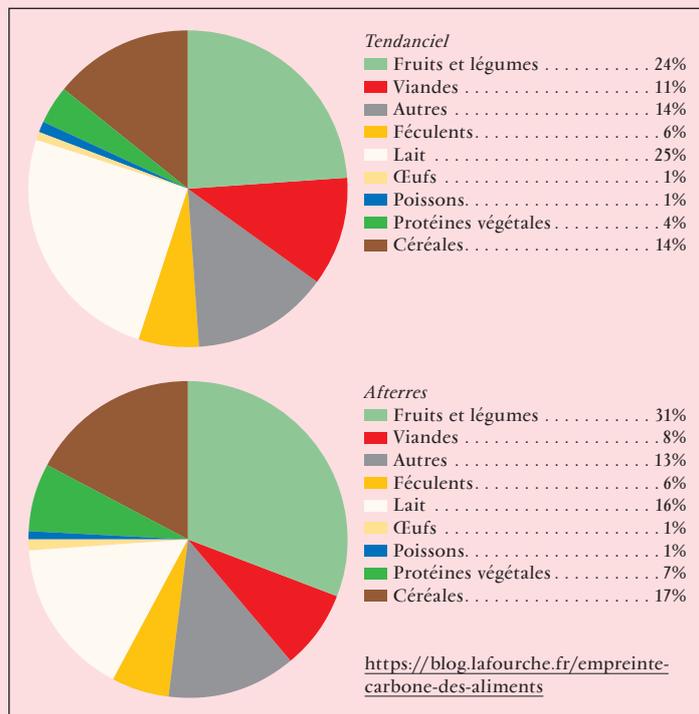


Fig. 20. L'assiette moyenne d'un européen aujourd'hui et en 2050. Répartition alimentaire basée sur le repas moyen d'un français en 2017 (2040 g éqCO2) évalué par l'ADEME et sur le scénario Aferres [Sources: ADEME / Aferres].

Le Parc agro-urbain à Genève (Suisse), FABRIQUES, PLAREL SA Architectes, SOLAGRO Agronomes, RLJ Ingénieurs, 2013. « L'objectif est ainsi de créer un parc urbain productif, dense et polyvalent, pensé pour la capacité de l'agriculture comme élément mobile à s'allier aux formes urbaines et à ne former plus qu'un. »



Le scénario prévoit une sortie progressive de l'agriculture conventionnelle à horizon 2030 avec la part de l'agriculture raisonnée et biologique qui augmente fortement (80%) en 2030, et à horizon plus lointain une montée en puissance de l'agro-écologie (40%) et une diversification des exploitations bio qui amène en 2050 à seulement 10% d'agriculture raisonnée.

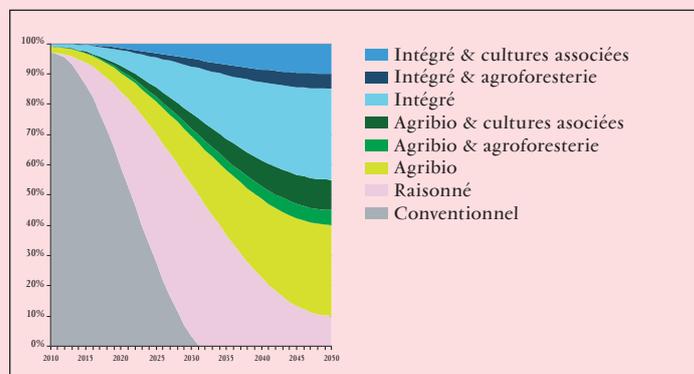


Fig. 21. Évolution des différents systèmes de production agricole selon le scénario Aferres2050. [Source: Solagro]

La part de produits issus de l'agriculture biologique dans un panier luxembourgeois s'élève aujourd'hui à 8%, en décalage avec les orientations de la filière alimentaire du Grand Duché, où la part du bio tant en agriculture qu'en transformation reste faible (En 2018, 5800 ha exploités en agriculture bio représentaient 4,2% de la surface agricole utile).

La vallée productive du parc agricole de la Venoge/Ecublens (Suisse), FABRIQUES Architectures Paysages, PLAREL SA Architectes, 2013-2014. « La vallée productive consiste à conforter l'aspect naturel des espaces accompagnant la Venoge en leur donnant plus d'épaisseur. Cet élargissement prend forme par l'installation de boisements adaptés et pensés pour leur gestion forestière, tout en étant ponctués de clairières associées à une gestion par pâturages. »



Dans le scénario, la construction bois prend une part significative dans le neuf comme dans la rénovation. Le scénario repose sur des hypothèses de diffusion des matériaux biosourcés dans le bâtiment en s'appuyant sur des réalisations existantes : il fixe un rythme de généralisation des meilleures techniques possibles. Ainsi, dans la construction neuve, la part des matériaux biosourcés dans les murs passerait de 10 à 50% d'ici à 2050, dans l'isolation de 10 à 75%, dans les menuiseries de 20 à 30%.

La ressource qui n'est pas utilisée sous forme de bois d'œuvre peut être mobilisée comme bois d'industrie (pâte à papier) ou d'énergie. Afterres2050 se donne pour objectif d'augmenter les usages de bois d'industrie de 50%. À l'avenir, les matériaux dérivés du bois remplaceront les matières issues de la pétrochimie.

Le bois d'œuvre permet de stocker durablement du carbone, cette filière ne s'oppose pas à celle du bois d'énergie, qui en est au contraire complémentaire. Les quantités prélevées augmentent ensuite pour tous les usages mais principalement pour l'énergie, elles atteignent un plafond vers 2040, puis se stabilisent. Les pertes d'exploitation augmentent du fait des aléas climatiques plus violents.

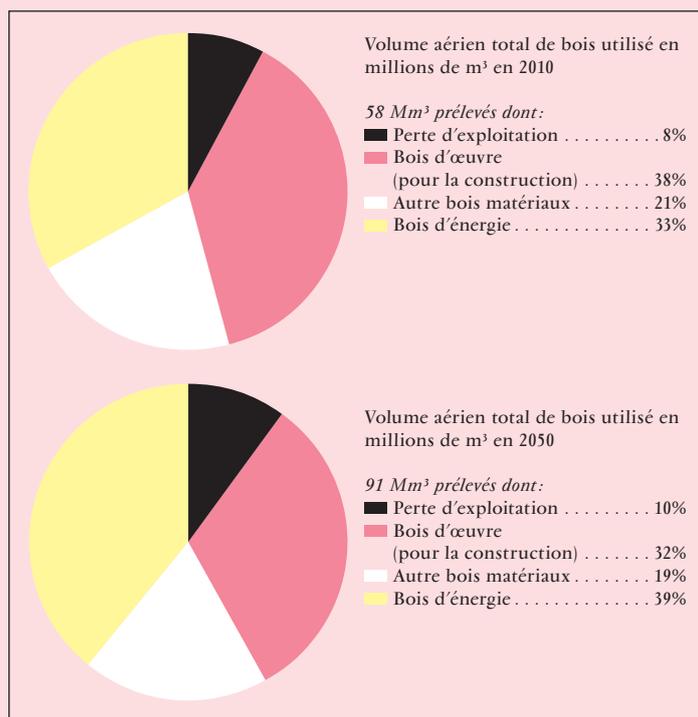


Fig. 22. Évolution des modes de constructions : en haut, chiffres en 2010, en bas, chiffres en 2050 avec une augmentation de 200% des quantités prélevées. [Source: Solagro, Afterres 2050]

6,9% des bâtiments luxembourgeois sont construits en bois. Le bois d'œuvre représente 25% des volumes vendus, le bois industrie 50% et le bois énergie 25%. Malgré l'omniprésence du bois sur le territoire, la majorité des foyers se chauffent encore au fioul (5,2% des émissions nationales). [Source : Luxinnovation.lu]

Afterres2050 prend pour hypothèse une division par 2 de l'effet de l'étalement urbain : la surface artificialisée par habitant ne progresse que de 14%.

L'accroissement des surfaces de forêt compense la perte des surfaces de bosquets et de haies, qui se poursuivent. Dans le scénario tendanciel, l'artificialisation grignote à la fois les surfaces agricoles et la forêt, et cette dernière régresse légèrement. Dans le scénario Afterres2050 et ses variantes, elle progresse au contraire légèrement. Mais le nombre d'arbres augmente lui largement, avec 10% de surfaces agricoles en agro-foresterie, la généralisation à la totalité des surfaces agricoles des infrastructures agro-écologiques, dont la majorité comportent des éléments arborés. Le scénario multiplie les arbres des champs comme les arbres des villes.

Dans le scénario Afterres2050, l'agro-foresterie se développe fortement mais à « basse densité ». À raison de 50 arbres par hectare, pour une emprise au sol de 12%, cette densité ne minore pas le rendement de la culture annuelle. L'agro-foresterie couvre, en 2050, 10% de la surface agricole utile, soit 3 millions d'hectares. Rapporté au Luxembourg ce serait 12 000 hectares.

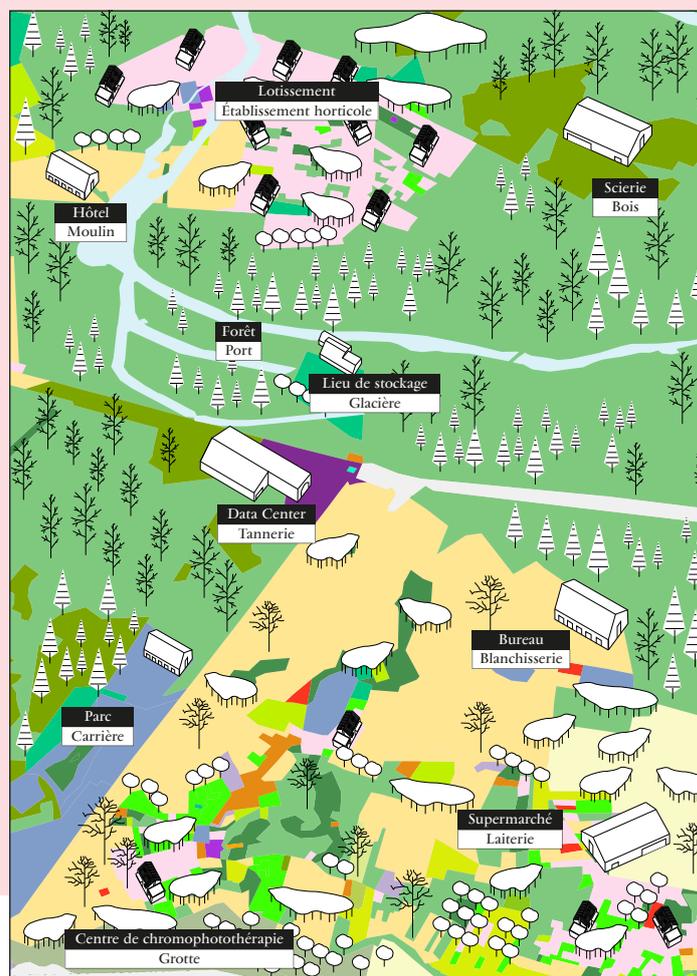
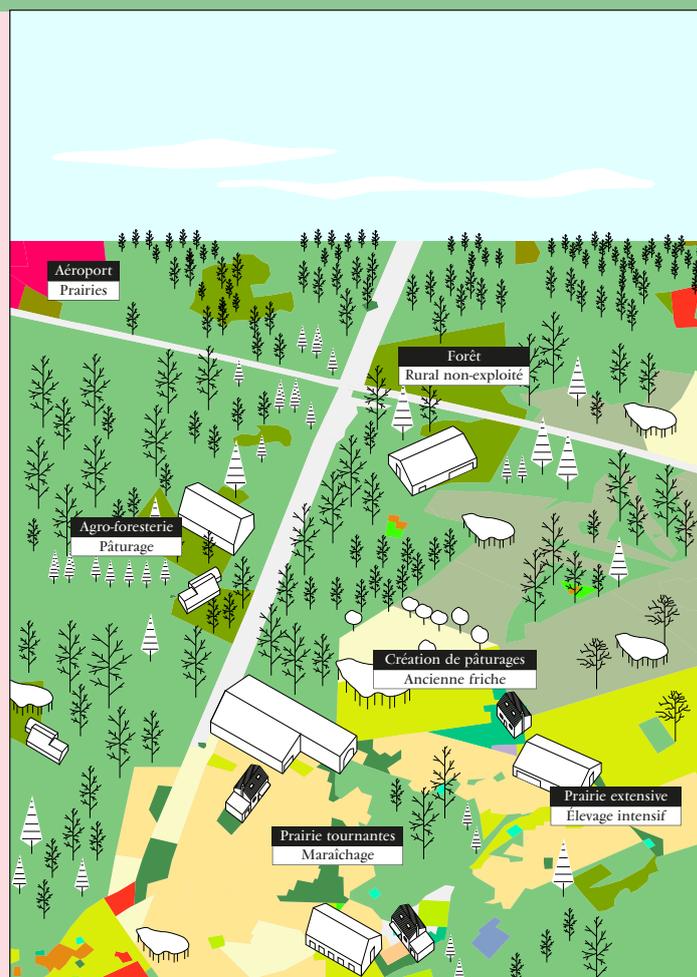
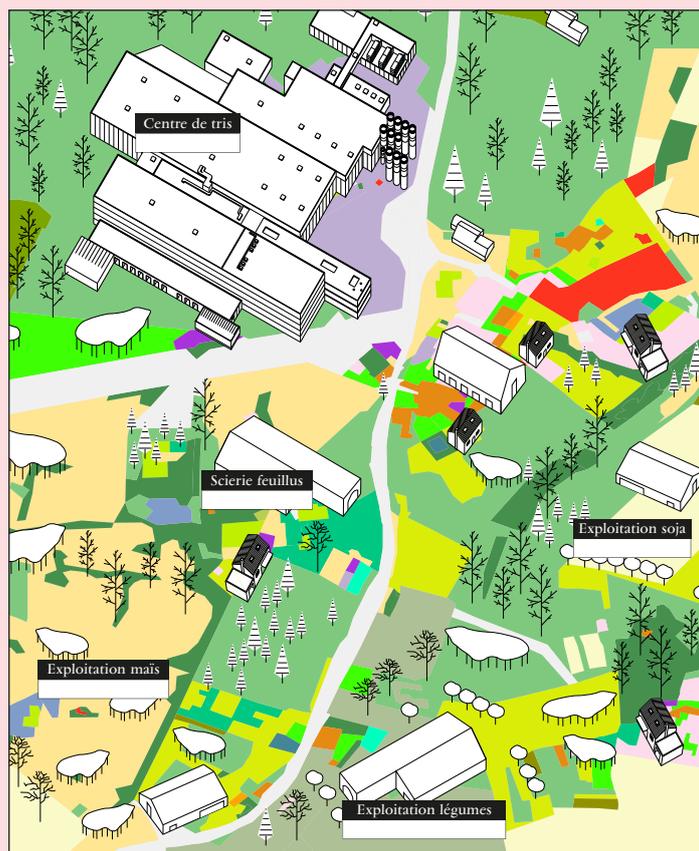
Chaque hectare (hors forêt) fournirait à l'horizon 2050 en moyenne près de 0,5 m³ de bois par an (soit 6000 m³ au Luxembourg), dont près de 70% exploitable comme bois énergie, et un tiers comme bois matériau. Toujours dans le scénario Afterres, d'ici 2030 la ressource bois issue de l'agro-foresterie et des arbres (hors forêts) va augmenter de 240% en 2030 et de 400% d'ici à 2050 par rapport à 2010.

4. COALITIONS

Ces deux objectifs (modes de consommation, limitation de l'artificialisation des sols, et augmentation de la biomasse) ouvrent un cadre pour l'invention d'un nouvel écosystème agro-forestier qui instaure des coalitions entre matières animales, végétales, constructives.

La mutation des infrastructures existantes repose sur un certain nombre de changements opérés aux différentes étapes des circuits matériels, comme :

- l'usage de matières alternatives (alimentation plus végétale, matériaux recyclables, biodégradables ou plus frugaux),
- leur rationalisation (réduction des distances parcourues, des intermédiaires),
- leur mutualisation,
- la rotation de leurs usages,
- l'augmentation du stockage du CO₂ (plantation d'arbres, arrêt des labours, transformation de champs en prairies),
- l'amélioration du cycle de vie (allongement des durées d'utilisation, recyclage).



Habitat individuel	Installations transports (voies ferrées, routes)
Activités	Installations aéroportuaires
Entrepôts, logistique	Surface eau (voies navigables)
Lieux d'extraction	Équipements énergie
Lieux de stockage	Sol en transition (désimperméabiliser)
Coalitions	Sol en transition (disponible changements d'usages)
Forêts de feuillus et résineux	Surfaces pâturages
Bois (essences diverses)	Surfaces agricoles
Agro-foresterie	Surfaces maraichères
	Prairies permanentes
	Vergers

A. Les greniers : transformation des exploitations agricoles intensives – 200 ha

Dans cette coalition, il s'agit de transformer l'organisation des fermes intensives conventionnelles. Cette transformation s'appuiera sur un changement progressif des modes de production, qui seront mis en corrélation avec les compensations carbone générées permettant d'assurer la transition.

Ces exploitations d'environ deux cent hectares produisent du lait mais aussi des céréales.

L'élevage intensif de vaches laitières est organisé en zones de stabulation sans que le bétail puisse accéder aux prairies. L'ensemble de la production est industrialisée, avec l'informatique comme outil régulateur.

La première étape sera de passer une partie de l'exploitation en agriculture extensive, avant le passage en agro-foresterie. Pour cela, une partie des terres sera remise en pâturages avec un allongement de la rotation et une diversification de l'assolement qui permettront de fournir les aliments nécessaires pour la production du lait. Une diversification des cultures avec une coopération entre exploitations permettra ainsi de compléter le système. La réduction des tailles des parcelles sera aussi le moyen de recréer de la biodiversité avec la plantation de haies et d'arbres, pour ainsi enclencher la production agro-écologique et à terme atteindre une autonomie en protéine complète pour les troupeaux.

La diversité des cultures, la mixité des activités entre production laitière, maraîchère et céréalière en vue d'une autonomie deviennent les garants de cette transformation qui se développera sur plusieurs années.

B. Les primeurs : fermes péri-urbaines et couronnes maraîchères – 5 ha

Le projet de cette coalition vise à transformer des zones commerciales, logistiques et industrielles périurbaines obsolètes en exploitations agricoles. Ces nouveaux espaces décarbonés permettent une désimperméabilisation des sols et la création de corridors verts favorisant la réintroduction d'une biodiversité. La proximité de bassins de production et de consommation permet en outre de rendre possible la réduction des distances et des émissions liées au transport.

Après une dépollution des sols et l'apport de terre végétale comme nouveau substrat, la création d'une nouvelle exploitation associera l'élevage ovin ou avicole, ainsi que le maraîchage. Le développement de l'exploitation sera accompagné de la mise en place d'un lieu de vente, d'un tiers-lieu comme petit équipement public, et d'une ferme pédagogique. La proximité des habitations favorise une zone de chalandise directe, qui évite le recours à des intermédiaires et favorise la proximité relationnelle, dite vertueuse pour orienter les changements

de pratiques. L'introduction de modes de transport doux (cheval de trait pour la production, vélo, drive piéton pour les consommateurs), diminue les nuisances, et ajoute une valeur éducative à la production. La diversification des variétés cultivées en agro-écologie et la largeur de gamme offerte par la mutualisation entre exploitation garantie l'attraction des points de vente.

À l'échelle du quartier, ces fermes peuvent être associées à des projets connexes d'habitation et d'équipement. Une mise en réseau de ces fermes permettra de créer une ceinture verte à l'instar des ceintures maraîchères qui ont perduré jusqu'au XIX^e siècle. Les stratégies de transformation et de vente des produits, les valeurs éducatives et la création de lien social sont les atouts de l'implantation de ces fermes en zones péri-urbaines.

C. Les sentinelles : fermes agro-écologiques en territoires protégés – 30 ha

Dans ce type de coalitions, il s'agit d'implanter des fermes agro-écologiques qui permettront d'exploiter des zones agricoles en friches et des zones forestières. L'élevage extensif et la permaculture peuvent participer à l'entretien de paysages protégés, et à la restauration d'écosystèmes perturbés. Ces nouvelles exploitations à petites échelles viendront compléter l'offre des grandes exploitations laitières et céréalières en diversifiant les productions.

La création de ces nouvelles exploitations associera un élevage extensif de porcs, de moutons et de poules, associé au maraîchage et à l'agro-foresterie. L'élevage de vaches laitières dans un système extensif pourrait également compléter la production. La mise en place de ces filières s'accompagnera de la création de coopératives regroupant des agriculteurs, des professionnels du bois et de l'agroalimentaire pour former une chaîne de proximité limitant les intermédiaires à l'échelle locale. La création d'abattoirs de proximité favorisera le respect des animaux et garantira également la qualité des produits. Les fermes situées en zone rurale pourront accueillir une offre de gîte, un lieu de vente ou une ferme pédagogique. Des unités de méthanisation couplées à des séchoirs en grange multi-produit peuvent compléter ce dispositif par cycle.

Ces coalitions à petite échelle assurent une diversification des cultures, un développement de la biodiversité par un système continu de haies, de pâturages plantés et de forêts. L'entretien de ces espaces naturels et cultivés participent également à créer des lieux pour le tourisme vert en pleine croissance. Avec une approche circulaire, ces projets proposent enfin un engagement social et environnemental pour favoriser la cohérence territoriale, et assurer une production intelligente et solidaire.

D. Les entrepôts: centres de récupération, de réemploi, et de fabrication

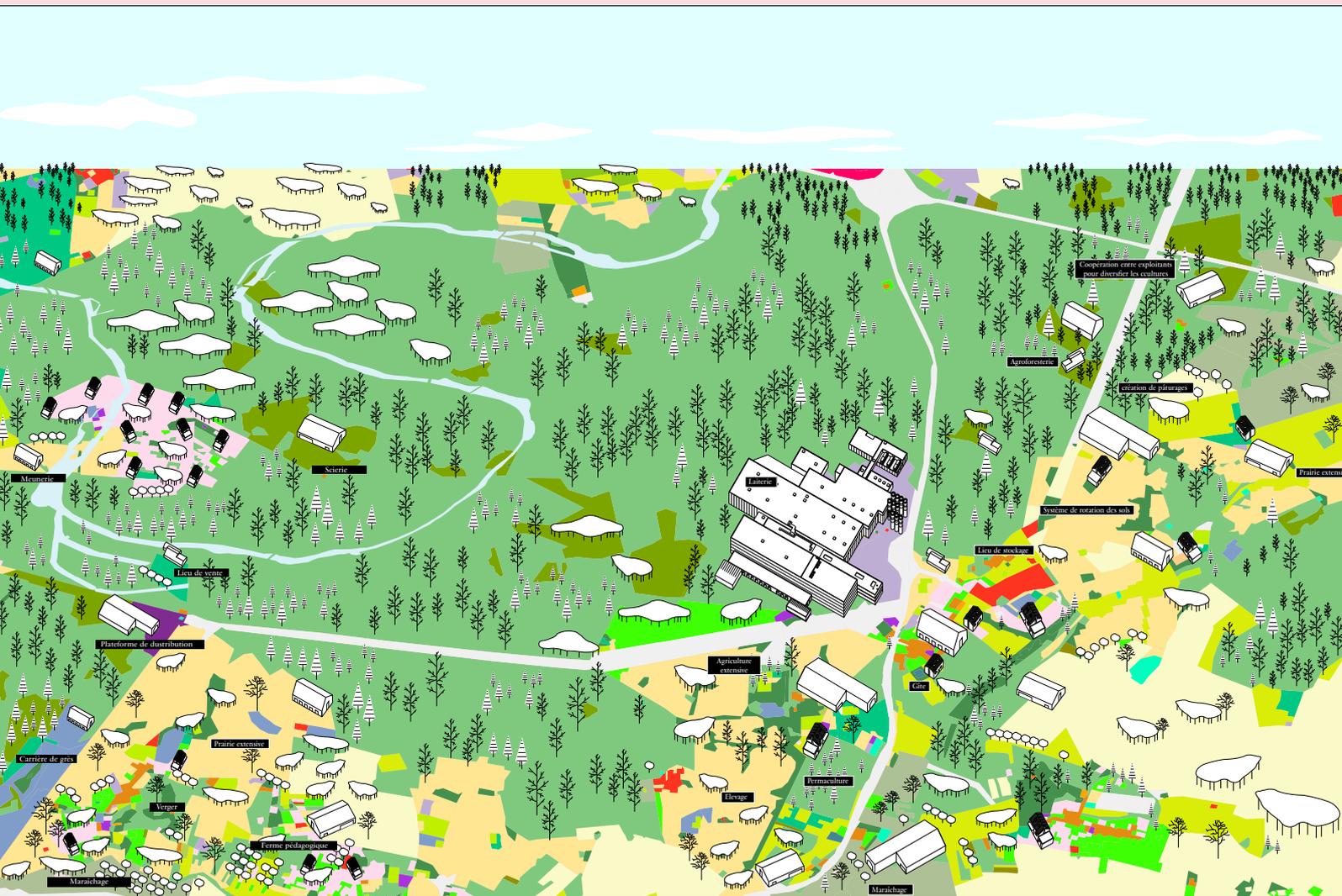
De la même manière, le passage d'une forme linéaire des circuits de matières constructives (de l'extraction à l'élimination) à une forme circulaire fait naître de nouveaux nœuds (espaces de stockage et de transformation) et liens (infrastructures logistiques) autour de partenariats entre les acteurs.

La déconstruction sélective de l'intérieur des bâtiments de bureaux devenus obsolètes pour les transformer en logements génère un nouvel écosystème d'acteurs, de sites et de projets. C'est près de 80% des matières issues de la démolition de ces bâtiments qui peuvent alors être réemployées, valorisées et échapper à l'élimination. Dans la périphérie de la ville, une plateforme réutilisant des espaces de parking inutilisés d'un centre commercial accueille les matériaux qui sont triés, classifiés et pour certains fondus ou broyés pour faciliter leur conditionnement et leur transport. Un ancienne grande surface d'habillement voisine est devenue quant à elle une unité de production d'isolants biosourcés produits à partir de paille et de chanvre. Les entreprises de construction trouvent tout ce qu'il faut pour leurs chantiers de bâtiments bas-carbone.

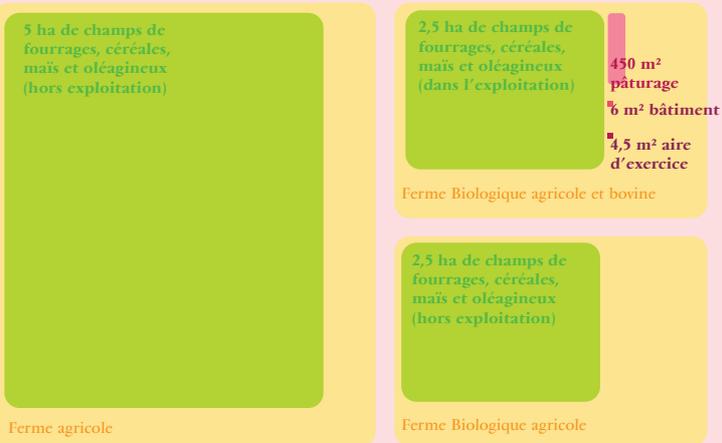
Le bois est stocké dans une ancienne ferme rurale, abandonnée suite à la construction d'une autoroute et récemment réhabilitée. Le site est suffisamment vaste pour procéder à sa transformation – nettoyage, redécoupage, réduction en copeaux ou en sciure – et mettre en place différents modes de stockage, par aspersion, bâchage, enfouissement ou enclavation. L'objectif est de protéger au mieux le matériau pour lui permettre de rester intact quelques mois voire années avant d'être écoulé de nouveau sur le marché des matériaux de construction. Une partie des produits est envoyée dans l'usine de la commune limitrophe qui fabrique des panneaux et des granulés de bois. L'autre – celle restée la plus brute – est vendue telle qu'elle dans l'une des trois plateformes de vente au détail de produits de réemploi du pays.

Fig 23. Nouvelles coalitions territoriales de l'alimentation et de la construction

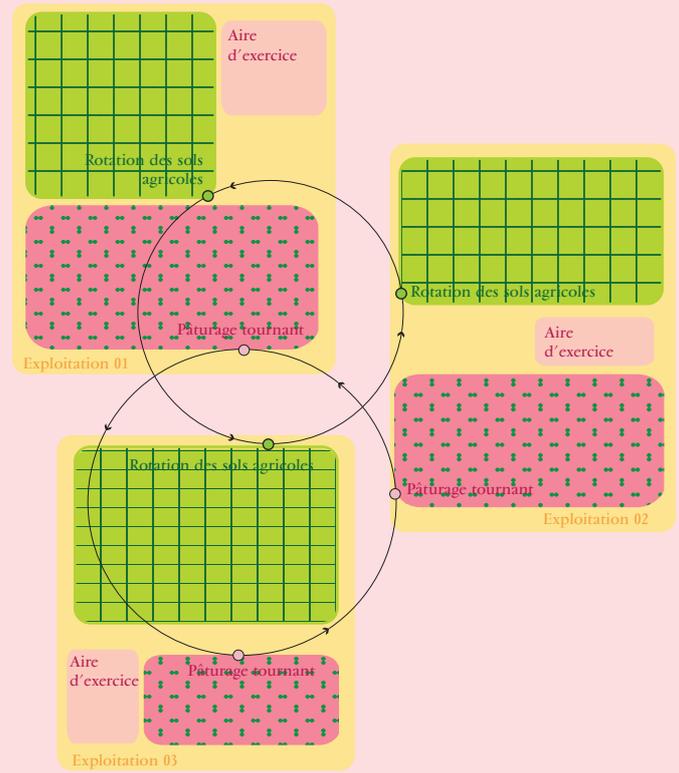
La somme des coalitions transforme le territoire, et permettrait de penser les infrastructures existantes et futures – les routes, les cités, les carrières, les scieries, etc. – dans leur rapport aux sols, aux milieux et aux entités bio-géo-chimiques fonctionnelles qui composent le territoire fonctionnel luxembourgeois (vallées, les forêts, les plateaux et plaines...).



■ 142 m² de pâturage
Ferme Bovine

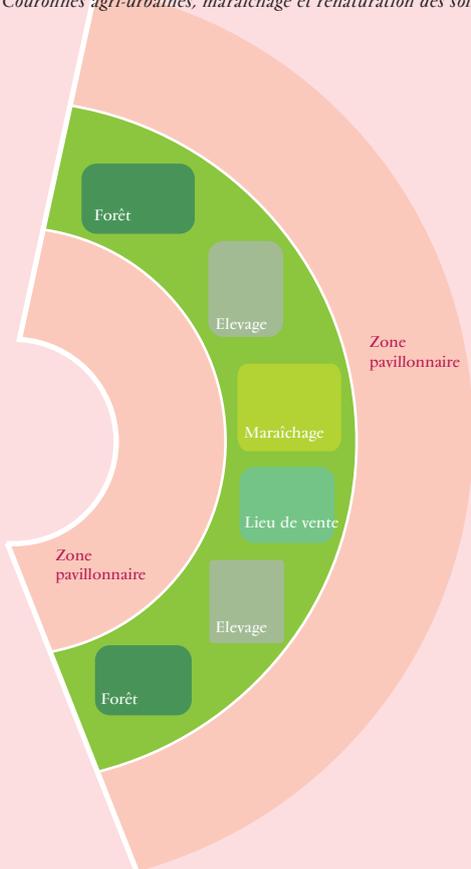


Pour une vache/an

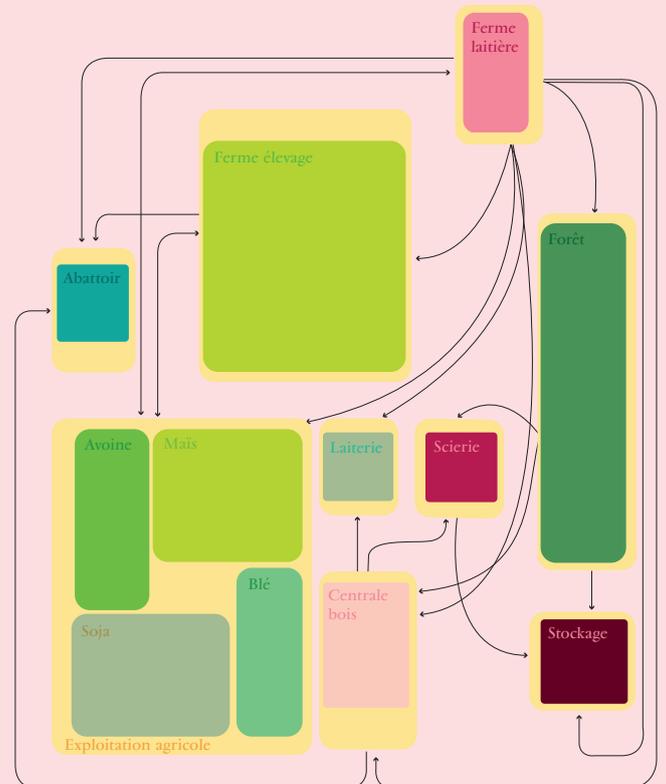


■■ Plantation de haies
■■ Plantation d'arbres

Couronnes agri-urbaines, maraîchage et renaturation des sols



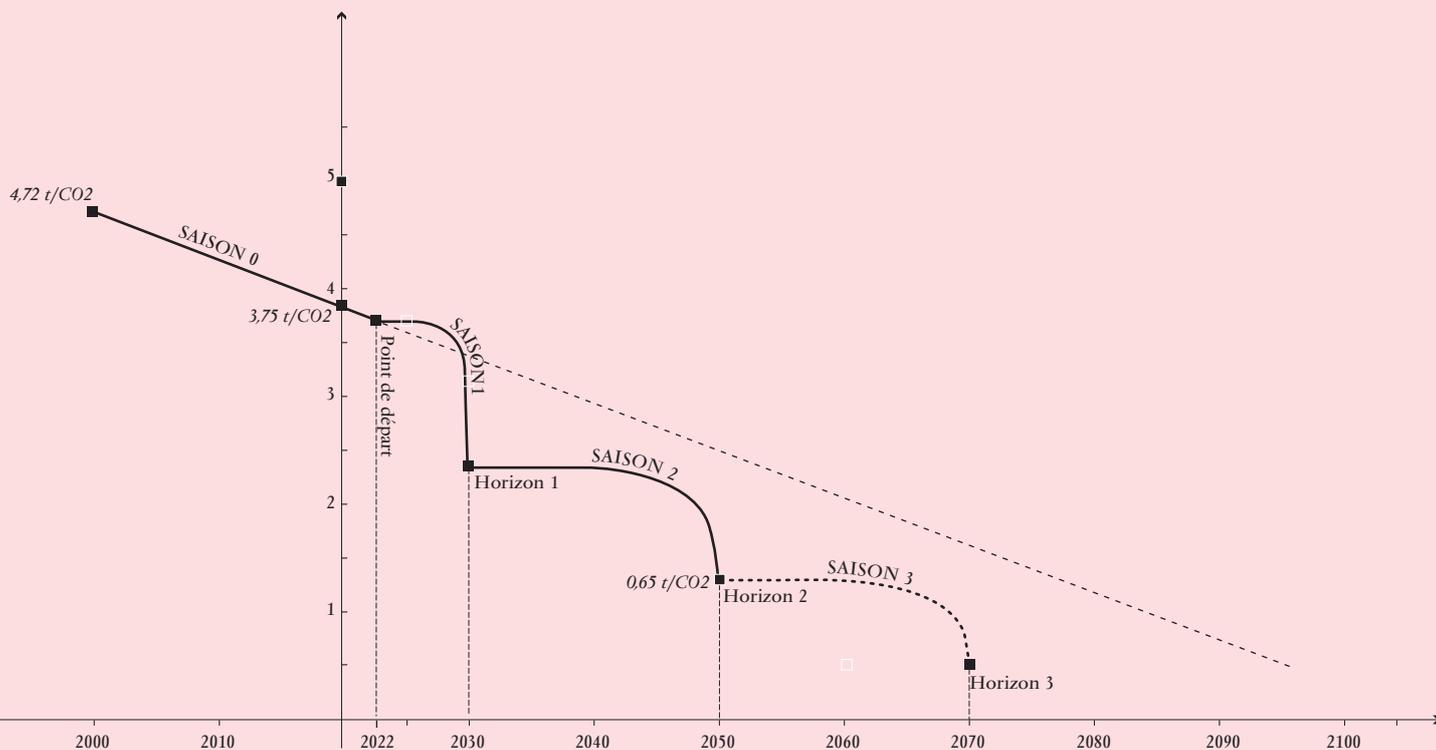
100 m² de maraîchage pour nourrir une personne, soit 10 000 ha pour nourrir la population du Luxembourg en 2050



5. SAISONS : UNE TRAJECTOIRE DE DÉCARBONATION

Pour qu'ils aboutissent à une réelle transformation, les objectifs chiffrés doivent être accompagnés d'une scénarisation des actions entreprises par les coalitions, afin d'agir à court terme tout en préparant les transformations à long terme. Une première saison vise à mettre en place les actions d'ores et déjà réalisables et à démarrer les travaux de restructuration plus importants.

Fig 24. Scénarisation de la transition alimentaire et matériaux biosourcés en quatre saisons



SAISON 1: 2022-2030

Optimisation des fermes existantes

Cette première saison s'appuie sur les mécanismes du marché et la mise en place d'un régime de protectionnisme écologique européen, notamment avec une politique agricole commune misant sur le bio et l'intensification du système d'échange de carbone (UE ETS). La mutation des exploitations en agriculture raisonnée, biologique ou agro-écologie suit la demande croissante des consommateurs et les incitations de la PAC. Les territoires ruraux et urbains sont mobilisés pour compenser les émissions de gaz à effet de serre des industries, par la plantation massive d'arbres.

Nœuds de production

- Désintensification de l'élevage, cheptels raisonnés (bien-être, santé animale, qualité viande...) et diversification des races.
- Arrêt de la production conventionnelle et passage à 50% en agriculture raisonnée, 20% en agriculture biologique et 30% en agro-écologie.
- Réduction de la taille des exploitations.
- Diversifications des types d'espèces plantées.
- Plantations de haies, d'arbres pour compenser les émissions d'autres entreprises.
- Mise en place d'usines à méthanisation.

Nœuds de transformations

- Intégration d'une transformation des produits *in-situ* (bois et aliments).
- Poursuite des opérations d'aménagement urbain en cours, et forte limitation de l'artificialisation nouvelle.

Circuits:

- Réduction de l'alimentation des cheptels venant de l'extérieur.
- Augmentation de l'autonomie alimentaire en rationalisant les distances d'import-export.
- Mise en relation des producteurs et consommateurs pas bassins de proximité.

SAISON 2: 2030-2050

Les nouveaux terroirs

Durant la saison 1, des actions incitatives sur les modes de consommation (diversification de l'apport protéique dans l'alimentation, subventions pour l'architecture bois et terre), des études pré-opérationnelles afin d'identifier des bassins vertueux pour un système coordonné d'agro-écologie résilient, la constitution de réserves foncières pour les futures activités relocalisées, ainsi que la mise en place d'outils de coopération transfrontalière sont mis en place afin de pouvoir lancer des chantiers plus importants en saison 2 et aller progressivement vers une plus grande autonomie alimentaire de la région fonctionnelle luxembourgeoise.

Nœuds de production

- Désintensification de l'élevage et rotation des troupeaux pour un meilleur équilibre des pâtures.
- Réduction des exploitations raisonnées (10%) au profit du biologique (40%) et de l'agro-écologie (4%).
- Systèmes agro-écologique locaux avec rotations et diversification des cultures avec un essor des productions non alimentaires (méthanisation et matériaux).
- Introduction d'un système coopératif entre espèces (type permaculture) avec réintroduction du bocage.
- Développement de l'agro-foresterie et du maraîchage en complément, notamment en ceintures péri-urbaines.
- Ajout de compléments d'activités (gîtes, fermes pédagogiques, loisirs).

Nœuds de transformations

- Mise en place d'abattoirs locaux non-industriels.
- Création d'usines à méthanisation.
- Développement d'usines de fabrication de matériaux biosourcés (paille, chanvre, bois).
- Zéro artificialisation nette des sols.
- Création d'un réseau d'entrepôts pour le recyclage des matériaux.

Circuits:

- Suppression de l'alimentation des cheptels venant de l'extérieur (sauf aléa).
- Création d'un système coopératif à l'échelle de la région Luxembourg transfrontalière avec un mode de transport décarboné (camions à l'hydrogène, fret ferré de nuit).

Fondamentaux méthodologiques

Les investigations, menées lors de l'étape 1 et exposées précédemment, permettent de façonner un modèle de représentation, de mesure et d'évaluation de l'empreinte écologique des circuits matériels et de leurs évolutions.

A l'issue de cette première élaboration de coalitions durables fictives et de leur scénarisation dans l'espace et le temps, nous pouvons tirer plusieurs enseignements. Dans les étapes suivantes, il s'agira d'utiliser ce modèle comme un instrument guidant et informant l'action territoriale, mesurant l'efficacité et la pertinence des hypothèses de transformations de la région fonctionnelle luxembourgeoise. Plusieurs fondamentaux méthodologiques guideront alors l'articulation entre modèle métrique et démarche de projet.

1. LE LOCAL ÉLASTIQUE

Pister des matières, tracer leurs circuits, mesurer les quantités déplacées et les distances parcourues met plus que jamais en lumière la nature profondément multiscalair des activités humaines. Chaque circuit matérialise son propre bassin de vie, relativisant ainsi les frontières nationales. De ce point de vue, le Luxembourg est le reflet de la réalité actuelle du commerce international, et en particulier de l'interdépendance des territoires européens et de leur inscription dans l'espace global.

DISTORSION

L'économie du Luxembourg s'est progressivement déployée depuis les années 1960 autour d'activités tertiaires fondées sur des flux immatériels : capitaux, connaissances, données. Ces flux ont ainsi hissé un des plus petits Etats du monde à la première des places boursières de l'Union européenne et au 6ème rang mondial. Mais cette prospérité économique a fait de ce petit territoire un des plus gros consommateurs de ressources du monde en équivalent carbone. Dans ce territoire métropolisé au cœur de l'Europe, il est plus difficile encore qu'ailleurs de tracer des limites aux flux logistiques, financiers, touristiques, échanges et circulations liées au BTP, à la production énergétique, à l'approvisionnement alimentaire. Une grande partie de ce qui est consommé au Luxembourg est produit ailleurs, et réciproquement. Son emprise importante sur l'extérieur de son territoire contraste avec sa faible emprise au sol. Sa très petite échelle physique ainsi que sa forte attractivité économique à l'échelle régionale, européenne et mondiale y intensifient les migrations pendulaires et les économies transfrontalières : au Luxembourg plus qu'ailleurs, la notion de local est élastique.

AUTONOMIE

Cette distorsion entre l'échelle réelle du pays, ses bassins d'influence et ses réputations (domination/consommation) provoque une forme d'escamotage entraînant la disparition de son identité et de sa substance géographique propre. Qui plus est, les fragilités induites par une telle dépendance, mises en lumière par la crise sanitaire et économique actuelle (approvisionnement en masques, appareils respiratoires ou traitements), et le coût environnemental du transport des marchandises qu'elle suppose (émissions de CO₂ et de polluants, consommation de ressources non-renouvelables et des sols par des infrastructures de logistique, de stockage, de refroidissement, de déplacement) font de l'évolution vers une plus forte autonomie un des leviers les plus cruciaux de la transition à opérer.

INTERDÉPENDANCES

Mais cette transformation ne peut se résoudre en adoptant un point de vue uniquement focalisé sur le local et orienté vers une unique ambition de relocalisation à tout prix des activités, qui oublierait la complexité et les raisons des interdépendances entre les territoires. Atténuer le mythe de l'autonomie et nuancer le recours au circuit court généralisé comme solution prête à l'emploi implique au contraire de raisonner à la « bonne » échelle et, pour cela, d'activer des coopérations entre les différents territoires luxembourgeois et frontaliers et leurs acteurs. En étape 2 il s'agira alors, pour chaque circuit de matières, de définir les dimensions d'un local raisonné où pourront se nouer les coalitions spatiales de production, d'acheminement et de gouvernance des matières de l'alimentation et de la construction.

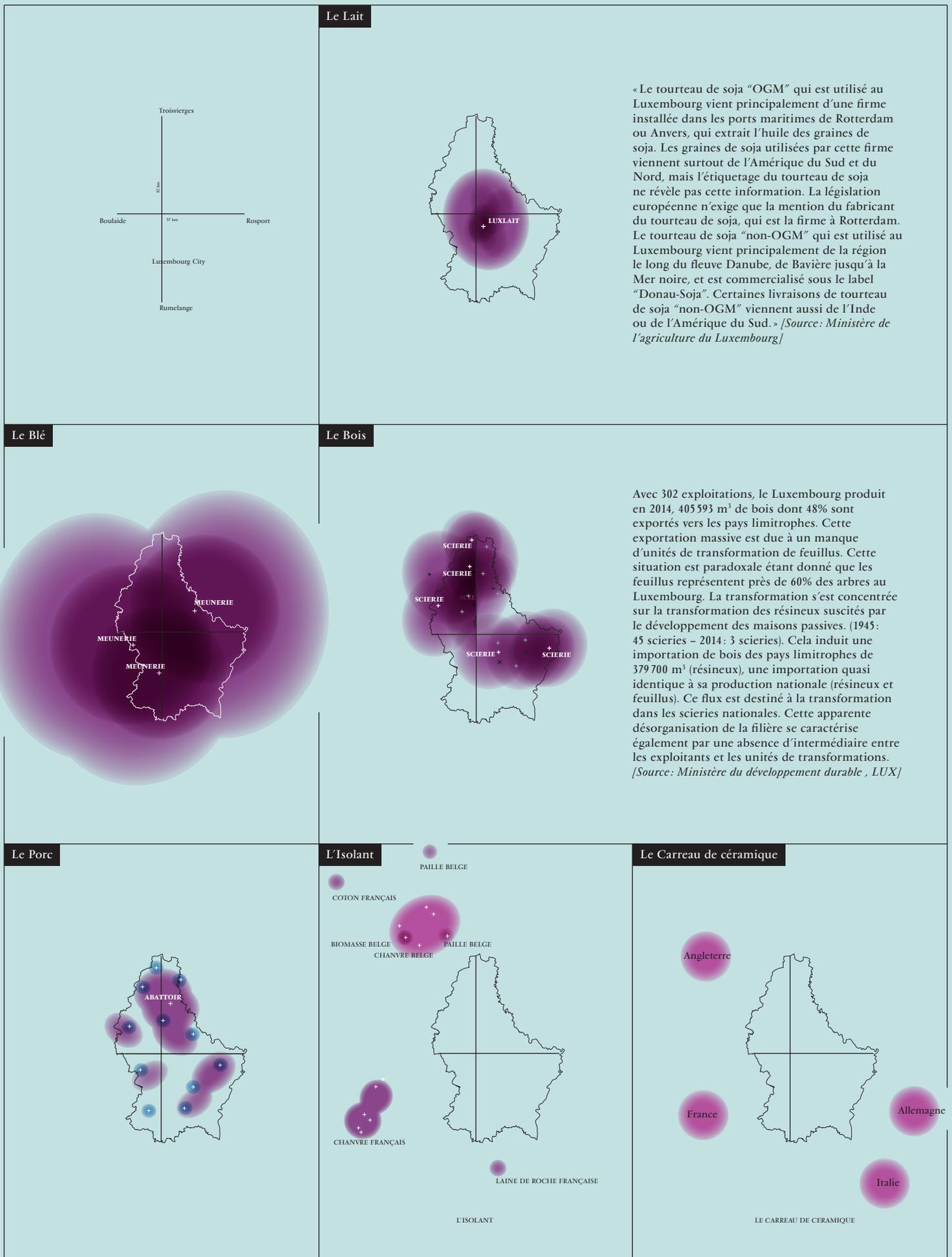


Fig.25- Hinterlands des matières luxembourgeoises

2. INTRIGUES TERRITORIALES

Les réflexions de l'étape 1, pour chaque circuit matériel retracé, aboutissent à l'identification d'un scénario prospectif, extremum qui fixe un cap et permet d'entrevoir l'étendue des choix et trajectoires possibles, et d'estimer leurs impacts écologiques. Cette simulation numérique permet de définir des objectifs abstraits, une étape intermédiaire pour maîtriser une réalité qui nous dépasse et faciliter ainsi la prise de décision.

Pour construire la transition entre scénario abstrait et passage à l'action, les étapes suivantes doivent permettre de dépasser cette vision simplifiée en la confrontant aux complexités et particularités territoriales, en l'incarnant par des points de vue et paroles d'acteurs clés des circuits, en l'ouvrant sur des problématiques et enjeux plus globaux et sociétaux. En plus de la métrique du quotidien mesurant la décarbonation et la résilience des sols, d'autres paramètres seront introduits tels que la faisabilité économique, la santé humaine et animale, l'acceptabilité sociale.

Chacune de nos filatures sera ainsi projetée dans le futur sous la forme d'une **intrigue**, une **question ouverte dont la résolution engage l'action** tout en la confrontant aux circonstances, incidents, enchaînements d'événements ultérieurs: on reviendra ainsi sur les conditions du développement de la sylviculture, de la disparition du sable, de l'augmentation de la consommation de pain local ou de l'exportation du lait, mais aussi sur les « effets » que ces phénomènes peuvent provoquer sur le sol luxembourgeois, tant du point de vue géologique, que foncier, sanitaire, paysager ou politique.

SOLS ET MATIÈRES

Quelles nouvelles occupations des sols pour les rendre plus résilients? Quelles stratégies pour limiter l'artificialisation et optimiser les espaces bâtis existants? Quelles pistes pour diversifier l'activité d'une exploitation agricole et la production de biomatériaux? Quelles nouvelles offres économiques?

INFRASTRUCTURES

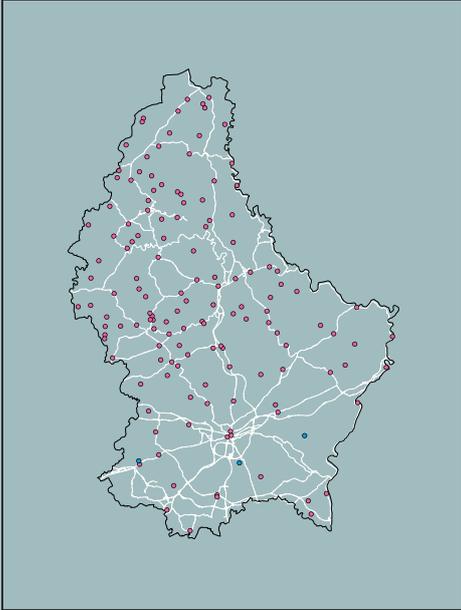
Comment réinvestir les infrastructures abandonnées suite à l'arrêt de l'exploitation de certaines matières? Comment les remettre en circuit? Quel projet pour les anciennes carrières de sable, les hauts fourneaux et les lignes ferroviaires déclassées? Quelle réorientation pour les infrastructures sous-utilisées et vieillissantes comme les zones commerciales ou tertiaires? Quelles réserves foncières pour les activités relocalisées?

CIRCUITS

Comment rendre plus local le traitement des matières après leur utilisation et éviter leur externalisation de l'autre côté des frontières? Ou améliorer la coopération transfrontalière? Quelles infrastructures construire ou reconverter pour supporter leur traitement et leur donner une seconde vie?

La formulation de ces intrigues constituera le pitch du projet à venir, comme des hypothèses de transformation intégrant un certain degré d'incertitude. Elle permettra d'orienter, de donner le sens des démarches de projet sans en arrêter définitivement la forme et le programme, et rendre possibles des ajustements sur le temps long.

Laiteries en 1946



Laiteries en 2020

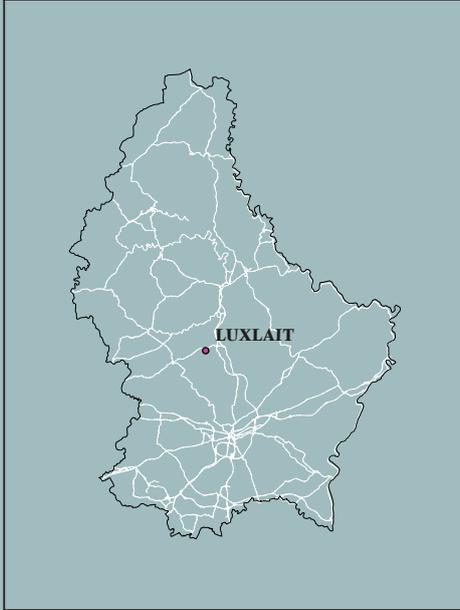


Fig. 26. Intrigues du lait

Entre 1950 et 1960, il existait 181 coopératives et associations de producteurs laitiers. Ce chiffre passe à 3 coopératives à la suite du remembrement des surfaces agricoles en 1964. Ces trois entités se partagent respectivement le transport, le stockage et la transformation pour fusionner en 1978 sous Luxlait.

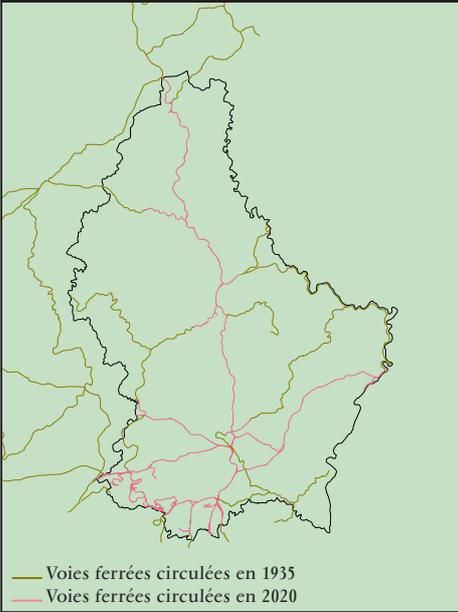
Aujourd'hui, la récolte et la transformation sont assurées par Luxlait, coopérative historique et deux entreprises internationales. Lactalis et Arlafoods se partagent à eux deux près de 60% de la production nationale de lait. Lactalis transforme le lait (camembert Président, crème fraîche, beurre) destinés au marché européen et Arlafoods dont l'usine est basée en Allemagne (l'apport luxembourgeois ne représente que 10%) exporte 30% de sa production en Asie et en Afrique (poudre de lait avec addition de graisse, beurre). Le prix de vente étant peu attractif sur le marché local, les producteurs se tournent vers ces grands groupes afin de rentabiliser leurs exploitations.

En 2018 et pour plus de la moitié des exploitations, le revenu de 11,9 cts/kg de lait (14,5 cts/kg en 2017) ne permet pas de couvrir l'ensemble des frais. Seuls 25% des exploitations arrivent à couvrir leurs coûts et réalisent une plus-value. Pour cause, la suppression des quotas sur les produits laitiers instaurés en 2015 qui a induit une augmentation de la production de la part des exploitations pensant ainsi générer plus de revenus.

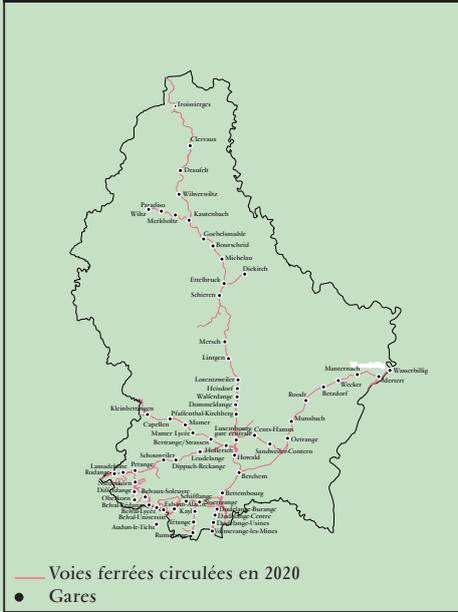
[Sources: RTL 5 minutes et Paperjam]



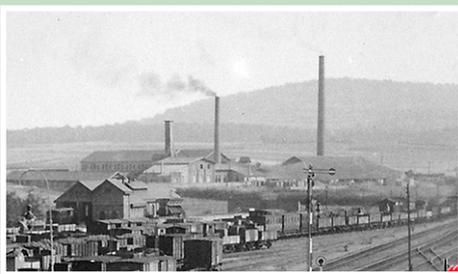
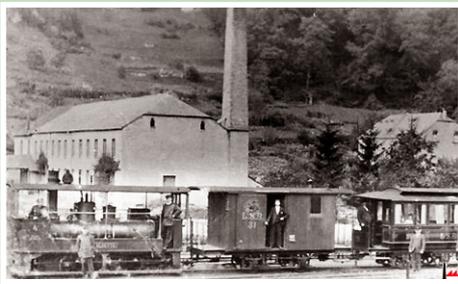
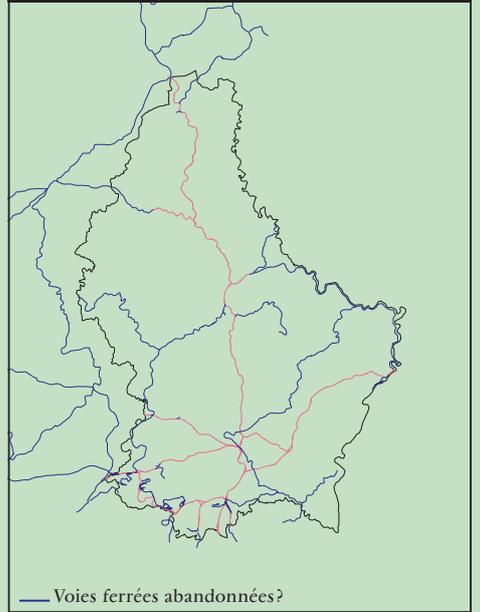
Longueur des lignes exploitées en 1939: 400 km
 Longueur des voies exploitées en 1960: 827 km
 (STATEC)



Longueur des lignes exploitées en 2019: 271 km
 et Longueur des voies exploitées en 2019: 628 km
 (STATEC)



Longueur des voies abandonnées en 2019: 199 km
 (STATEC)



3. ÉCOLOGIES

L'étude des circuits menée en étape 1 a permis de mettre en évidence leur structure générique, les nœuds et liens qui les composent, en revenant sur le territoire fonctionnel du Grand Duché dans les étapes suivantes, la filature des circuits matériels, s'attachera à un diagnostic des sols et des infrastructures permettant de nouer des coalitions et d'imaginer les nouvelles écologies de l'alimentation et de la construction.

INFRASTRUCTURES

Les filatures des matières (dans l'espace et dans le temps) nous conduisent à localiser des nœuds infrastructurels qui supportent chaque étape de leurs mutations: extraction, transformation, déplacement, consommation et élimination. Surfaciennes ou linéaires, ces infrastructures maillent le territoire du Grand-Duché mais dépassent rapidement ses frontières, parcourant parfois des milliers de kilomètres. En procédant à une archéologie des infrastructures de la matière, nous recensons des infrastructures abandonnées, d'autres saturées ou sous-utilisées, certaines vertueuses et d'autres extrêmement émettrices ou consommatrices des ressources. Les infrastructures ancrent les circuits de matières dans les territoires et en constituent le pendant situé mais aussi un capital pour leur transformation écologique.

COALITIONS

L'étude des infrastructures permet alors d'observer des convergences, des croisements entre les circuits: ici, la laiterie Luxlait voisine avec une usine électrique, l'autoroute A7 et une usine Arcelor Mittal; là, autour du port de Merttert sur la Moselle, se trouvent une usine de béton Feidt, des détaillants de chaudières, de spiritueux et de compléments alimentaires. Ce voisinage est un potentiel de coalition: il permet d'élaborer des démarches communes, de co-financer des initiatives vertueuses et de faire converger les flux et les stratégies économiques. En réunissant les acteurs présents sur certains de ces nœuds infrastructurels, il est ainsi possible de construire ce que nous appelons des coalitions: des regroupements d'acteurs économiques, politiques, d'institutions territoriales, de consommateurs des matières, d'habitants et usagers de ces paysages autour d'une démarche de projet commune orientée vers la réduction de l'empreinte écologique. Faire coalition, c'est s'entendre sur des fondamentaux, des ambitions, des envies et objectifs partagés, un rythme d'action. Les métriques permettent alors de fixer des objectifs communs,

de raisonner autour d'indicateurs partagés, et d'alimenter une feuille de route environnementale.

ÉCOLOGIES

Ces coalitions, portées par les acteurs locaux, œuvrent à l'émergence d'une intelligence du territoire, permise par une connaissance fine du terrain et de ses spécificités. Elles forment des écologies, au sens où le critique britannique Reyner Banham ou les théoriciens des approches biorégionalistes ont pu les concevoir: des ensembles territoriaux dans lesquels la forme des constructions et des infrastructures, les modes de plantations, les modèles de travail des sols, et donc les activités et les modes de vie humains sont pensés concomitamment et dans un rapport aux qualités climatiques, géologiques et morphologiques des lieux (exposition, inclinaison et nature des sols, etc.), à la manière dont ils sont vécus par l'ensemble des agents et entités qui les habitent. Ces écologies fournissent des échelles pertinentes de réflexion et d'action, et se conçoivent en complémentarité les unes des autres.

Colonne lithologique

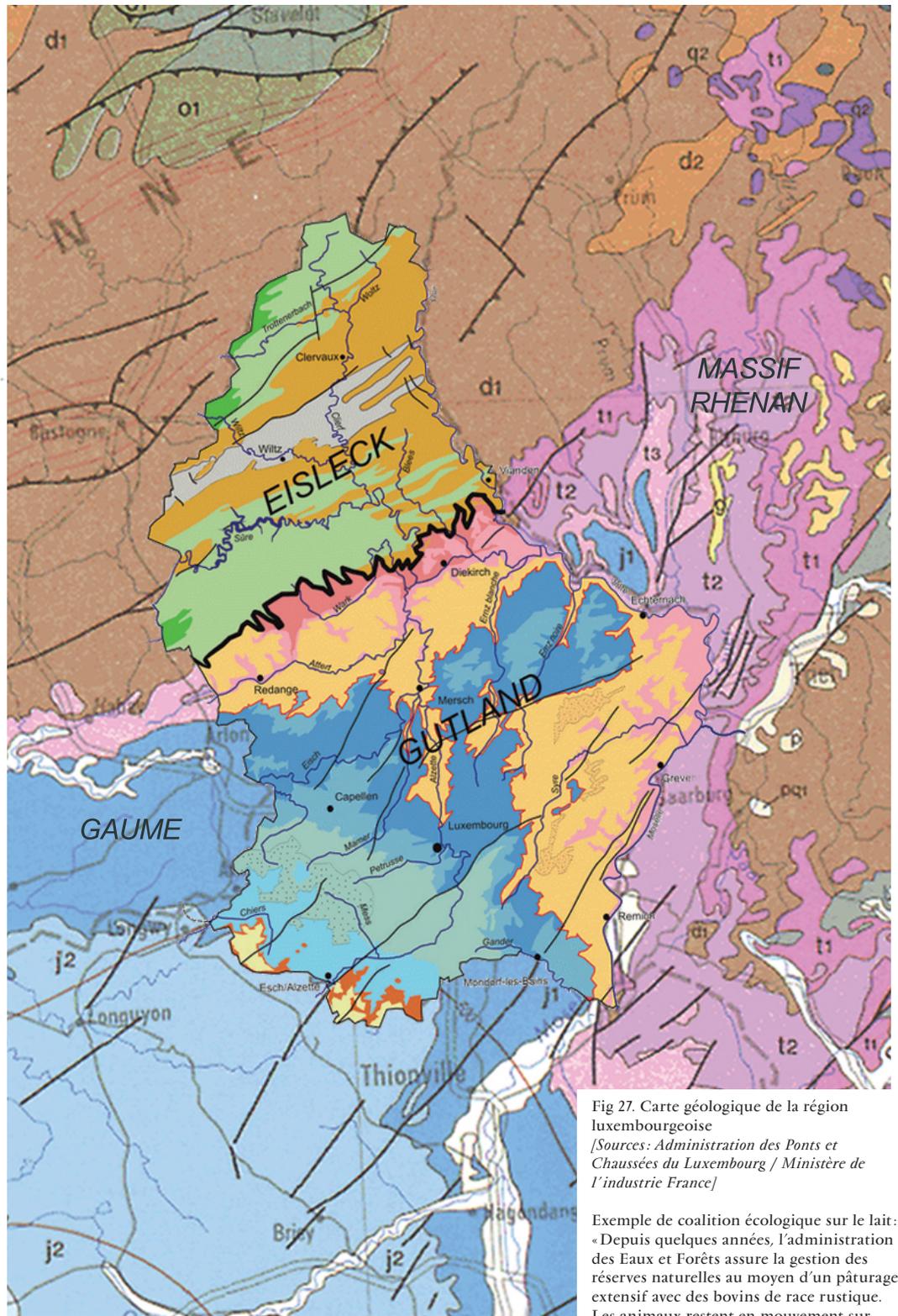
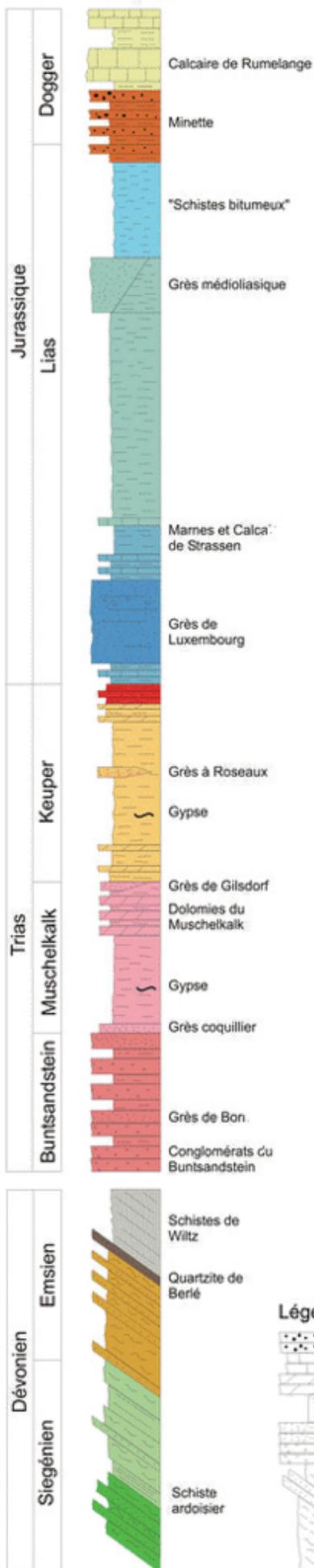
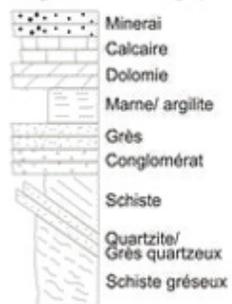
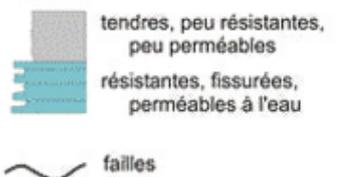


Fig 27. Carte géologique de la région luxembourgeoise
[Sources: Administration des Ponts et Chaussées du Luxembourg / Ministère de l'industrie France]

Légende lithologique



Roches



(établie d'après la Carte Géologique Générale au 1:100 000), ver. 2.4, 2002

Exemple de coalition écologique sur le lait: «Depuis quelques années, l'administration des Eaux et Forêts assure la gestion des réserves naturelles au moyen d'un pâturage extensif avec des bovins de race rustique. Les animaux restent en mouvement sur le pâturage pendant toute l'année. Ils ne sont pas engraisés à l'étable pendant l'hiver. Ils se nourrissent exclusivement de la végétation naturelle qui se développe spontanément sur les terrains. Il est renoncé à tout amendement des surfaces, notamment à l'épandage d'engrais. La viande qui en résulte se caractérise par une haute qualité: croissance lente, teneur en eau relativement faible, teneur en acides gras non saturés relativement élevée, pas de résidus de substances chimiques, goût prononcé.» [Source : Ardenneweb.eu]

«Aux quatre coins du Luxembourg, une centaine d'agriculteurs ont adopté la manière Naturschutz Fleesch, sur un total de 2.800 hectares de zones protégées.» [Source: Luxemburger Wort]

4. PROJETS-TRAJECTOIRES : AGIR DANS LE TEMPS ET L'ESPACE

L'approche par circuits et coalitions informe le projet territorial. Celui-ci ne peut pas se résumer à une addition de projets locaux. L'approche expérimentée au cours de cette première étape de la consultation a mis en lumière l'importance des temporalités dans les cycles de la matière. Il s'agira d'approfondir cette dimension temporelle et d'appréhender également le rôle des différents types d'acteurs dans la transition, et d'identifier les échelles et formes de territorialités constituées par les écologies des matières. Ces trois caractéristiques peuvent permettre de refonder un mode d'action territoriale que nous nommons « projet-trajectoire ».

ARCHIPELS

Les projets-trajectoires induisent des échelles et des méthodes de projets spécifiques, modulés en fonction des circuits matériels. Là où le projet territorial conventionnel tente de maîtriser de manière équivalente la totalité d'un vaste périmètre, là où le projet urbain ne s'intéresse qu'à une portion d'espace circonscrite, le projet-trajectoire met des sites distants en relation, dans une même dynamique de mutation et de transition. Ces lieux, reliés par les flux de matières, construisent ensemble des archipels orientés par une même trajectoire, qui agit sur leurs infrastructures en les transformant, les reconvertissant, les réhabilitant.

SCÉNARISATION

Cette trajectoire est également temporelle. Les projets-trajectoires modulent les échelles temporelles en ne raisonnant plus par échéances mais par cycles, boucles, saisons. Ils installent la transition de manière progressive et incrémentale, sans pour autant perdre de vue les objectifs à terme. La transition implique en effet de retrouver d'articuler des actions rapides et urgentes aux temporalités longues du sol et de l'air (temps de croissance d'une forêt, de régénération d'un sol, de développement d'une nouvelle industrie ou de transformation d'une friche, etc.). Les premières actions préparent le terrain pour les suivantes. Les courbes qui témoignent de la transition ne sont alors pas régulières et continues. Leur rythme fluctue en fonction de ces « saisons » qui s'appuieront sur les objectifs de décarbonation et les paramètres socio-économiques, pour construire une scénarisation de la transition

MOBILISATION

Enfin les projets-trajectoires se construisent à partir de la mobilisation des acteurs et pensent conjointement les actions territoriales et leur gouvernance. Les étapes suivantes permettront de préfigurer des outils d'action afin d'ancrer les coalitions dans un réalisme opérationnel.

Cette approche, qui part de la filature des matières pour en déduire des projets-trajectoires, n'entend pas produire des résultats généralisables, mais s'attache plutôt à proposer et exemplifier une méthode reproductible dans l'objectif d'enrichir les documents de planification habituels avec d'autres types de représentations et de démarches qui en matérialisent les enjeux fonciers et paysagers.

Méthodologie

Étapes 2 et 3

[Feuille de route – Étape 2]

1. Inventaire prospectif des matières

- Lister les matières consommées
- Échantillonner selon les paramètres de la transition
- Faire le portrait des matières sélectionnées

2. Filature des circuits matériels

- Identifier les nœuds, les liens et les bassins
- Faire apparaître les infrastructures
- Comprendre les motivations des agents
- Cartographier les écologies alimentaires et constructives

3. Empreintes situées des circuits

- Mesurer à partir des nœuds et des liens
- Mettre en perspective le présent

4. Intrigues et coalitions

- Échafauder les intrigues des transitions alimentaires et constructives
- Nouer des coalitions territoriales

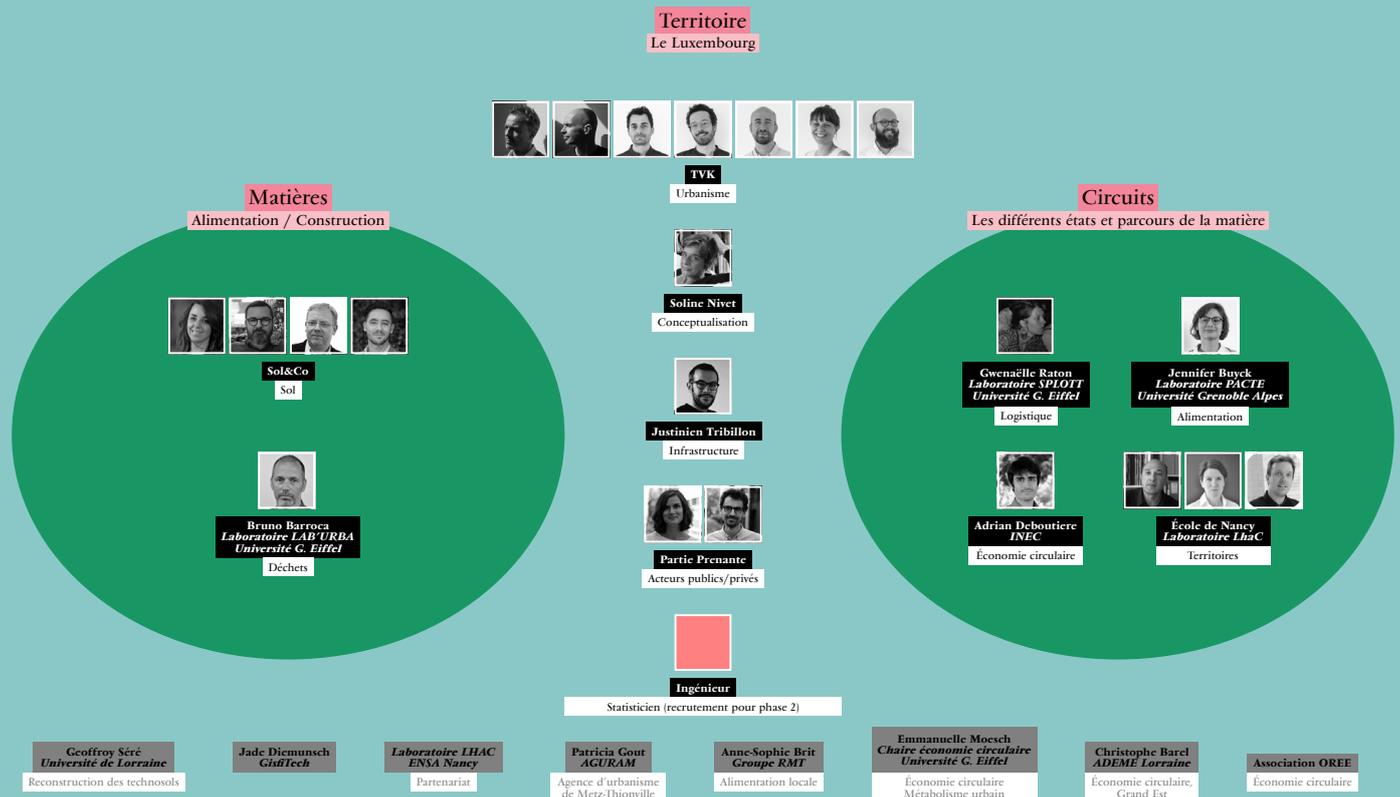
[Feuille de route – étape 3]

5. Métamorphose des infrastructures

- Construire des projets trajectoires
- Scénariser la transformation des nœuds et des liens

6. Agenda de la transition/Entrée en transition

- Extrapoler la méthode
- Informar la planification
- Préfigurer des outils d'action



Annexes

Empreintes écologiques

- Climate Watch, Données Luxembourg, base PIK – Greenhouse Gas Emissions and Emissions Targets 1854-2017, consulté le 03/01/2021.
- Jean-Yves Courtonne, Mike Mathias (éds.) et Myfootprint.lu, L’empreinte écologique du Luxembourg édition 2013, Ministère du développement durable et des infrastructures, 2013.
- Elhacham, E., Ben-Uri, L., Grozovski, J. et al. « Global human-made mass exceeds all living biomass », *Nature*, 2020.
- Paula Hild, Bianca Schmitt, Antoine Decoville, Morgane Mey, Joëlle Welfring, The Ecological Footprint of Luxembourg: Technical Report, version 4.0, Centre de recherche public Henri Tudor, Luxembourg, juin 2018.
- INSEE, Indicateurs de richesse nationale, 16/12/2020.

Rapports Européens

- Commission européenne, Action de l’UE pour le climat et pacte vert pour l’Europe.
- European Environment Agency, The EU Emissions Trading System in 2019: trends and projections, 2019.
- European Commission, A Clean Planet for all European long-term strategic vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy, In-depth Analysis In Support Of The Commission Communication Com(2018) 773, 2018.
- European Commission, Directorate for Regional and Urban Policy, Report on the quality of life in European cities, 2020.

Histoire matérielle du Luxembourg

- Simone Casali, « L’industrie sidérurgique luxembourgeoise depuis les années 1960 », STATEC, Luxembourg, 12/03/2013
- Cimalux, Ciments et Matériaux, « Historique », 2020.
- CVCE, Elena Rodica Danescu, « Crise de la sidérurgie et diversification économique », CVCE. EU by UNI.LU, 2016.
- Briec Hardy, Joseph E. Dufey, « Estimation des besoins en charbon de bois et en superficie forestière pour la sidérurgie wallonne préindustrielle (1750-1830) », *Revue Forestière française*, LXIV, 4-2012.
- Industrie.lu, L’histoire industrielle du Luxembourg, et au-delà.
- Ministère des Travaux Publics, Administration des Ponts et Chaussées, Papier stratégique « route2020. lu » du réseau routier étatique, octobre 2003.
- Portail luxembourgeois des sciences de la Terre

- STATEC, Lucia Gargano, « L’essor du secteur tertiaire au Luxembourg », STATEC, Luxembourg 19/12/2012.
- Gérard Trausch, Histoire économique du Grand-Duché de Luxembourg, 1815-2015, STATEC, Luxembourg, 2017.
- Gilbert Trausch, Structures et problèmes agraires du passé, *Hémecht*, n° 2, 1969.

Démographie

- STATEC, Serge Allegrezza (dir.), « Projections macroéconomiques et démographiques de long terme: 2017-2060 », STATEC, Luxembourg, novembre 2017.

Énergie et transports

- Barbier C., Couturier C., Pourouchottamin P., Cayla J-m, Sylvestre M., Pharabod I., « L’Empreinte énergétique et carbone de l’alimentation en France », Club Ingénierie Prospective Énergie et Environnement, Paris, IDDRI, janvier 2019.

Alimentation (lait, viande, autres)

- ADEME, Base Carbone, Restauration, consulté le 03/01/2021.
- ADEME, Base carbone, Documentation des facteurs d’émissions de la Base Carbone, 2014.
- Agribalyse.fr, base de données environnementale de référence sur des produits agricoles et alimentaires
- Ardenneweb, « Les Réserves naturelles et l’élevage extensif au Grand-Duché de Luxembourg », Ardenneweb.eu, 27/09/2008, consulté le 03/01/2021
- Commissariat général au développement durable (2019), EFESE - La séquestration du carbone par les écosystèmes français. La Documentation Française (éd.). Collection Théma Analyse, e-publication.
- Conseil général de l’alimentation, de l’agriculture et des espaces ruraux, Les Contributions possibles de l’agriculture et de la forêt à la lutte contre le changement climatique, Rapport n° 14 056, version 2, octobre 2014.
- Ministère de l’agriculture, de la viticulture et de la protection des consommateurs, Réponse de Monsieur le Ministre de l’Agriculture, de la Viticulture et de la Protection des consommateurs à la question parlementaire n° 3409 des honorables Députés Messieurs Gérard Anzia et Henri Kox, 2017.
- Ministère de l’agriculture, de la viticulture et de la protection des consommateurs, Service d’économie rurale, L’agriculture luxembourgeoise en chiffres, Luxembourg, 2016.

- Parlement européen et Université de Wageningen, Pays-Bas: Rico Ihle, Liesbeth Dries, Roel Jongeneel, Thomas Venus, Justus Wesseler, Recherche pour la Commission AGRI-le secteur de l'élevage bovin dans l'Union européenne: défis et perspectives - lait et viande, Union Européenne, février 2017.
- RTL 5 minutes, « 40% du lait luxembourgeois finit chez Arla Foods », RTL 5minutes (en ligne) 28/03/2017.
- Solagro, Christian Couturier, Madeleine Charru, Sylvain Doublet et Philippe Pointereau, Afterres2050, le scénario 2016, Solagro, Toulouse, 2016.
- Solagro, « Témoignages d'agriculteurs sur leurs pratiques agroécologiques », consulté le 03/01/2021.
- Audrey Somnard, Lactalis Luxembourg se découvre, Paperjam (en ligne), 07/03/2018.
- Benoît Turgeon *et al.*, « De bons rendements fourragers, du fourrage de qualité, le tout à bas coût, est-ce possible? », Centre multi-conseils agricoles, consulté le 03/01/2021.
- Jean Vayssières, « Viande labellisée: "La nature sur votre table" », Luxemburger Wort (en ligne) 04/09/2018, consulté le 03/01/2021.
- WWF Schweiz, Ökobilanz von Kuhmilch und pflanzlichen Drinks, 2020.

Données chiffrées pour les courbes inventaire CO₂ et empreinte écologique

- EEA: European Environment Agency
- Eurostat
- Global Footprint Network, « Country Trends, Luxembourg », consulté le 03/01/2021.
- OCDE: Organisation de coopération et de développement économiques
- Perspective monde (Données Banque mondiale)
- STATEC

Construction (béton, sable, ciment, bois)

- Amélie Luquain, « Le béton cherche à limiter ses émissions de CO₂ », *Le Moniteur* (en ligne), 01/11/2019, consulté le 03/01/2021.
- IGN, La forêt en chiffres et en cartes, 2012.
- Lux Innovation, Woodcluster, « Cartographie du secteur bois. Chiffres clés du secteur privé », 2018.
- Lux Innovation, Woodcluster, « Le bois un matériau d'avenir », 2018.
- Neobuild, « Les matériaux de construction en question », *Neomag*, n°12, janvier 2018.
- Ministère du développement durable et des infrastructures département de l'environnement, Administration de la nature et des forêts, université de Liège Gembloux Agro bio Tech, La forêt luxembourgeoise en chiffres, Résultats de l'inventaire forestier National au Grand-Duché de Luxembourg 2009-2011, 2014.
- TOTEM (Tool to Optimise the Total Environmental impact of Materials)
- UNICEM, Union Nationale des Producteurs de Granulats, Carrières et développement durable. Réalisations, 2007.

TVK

75 boulevard Macdonald, 75019 Paris, France
+33 (0)1 47 00 04 62, agence@tvk.fr, www.tvk.fr