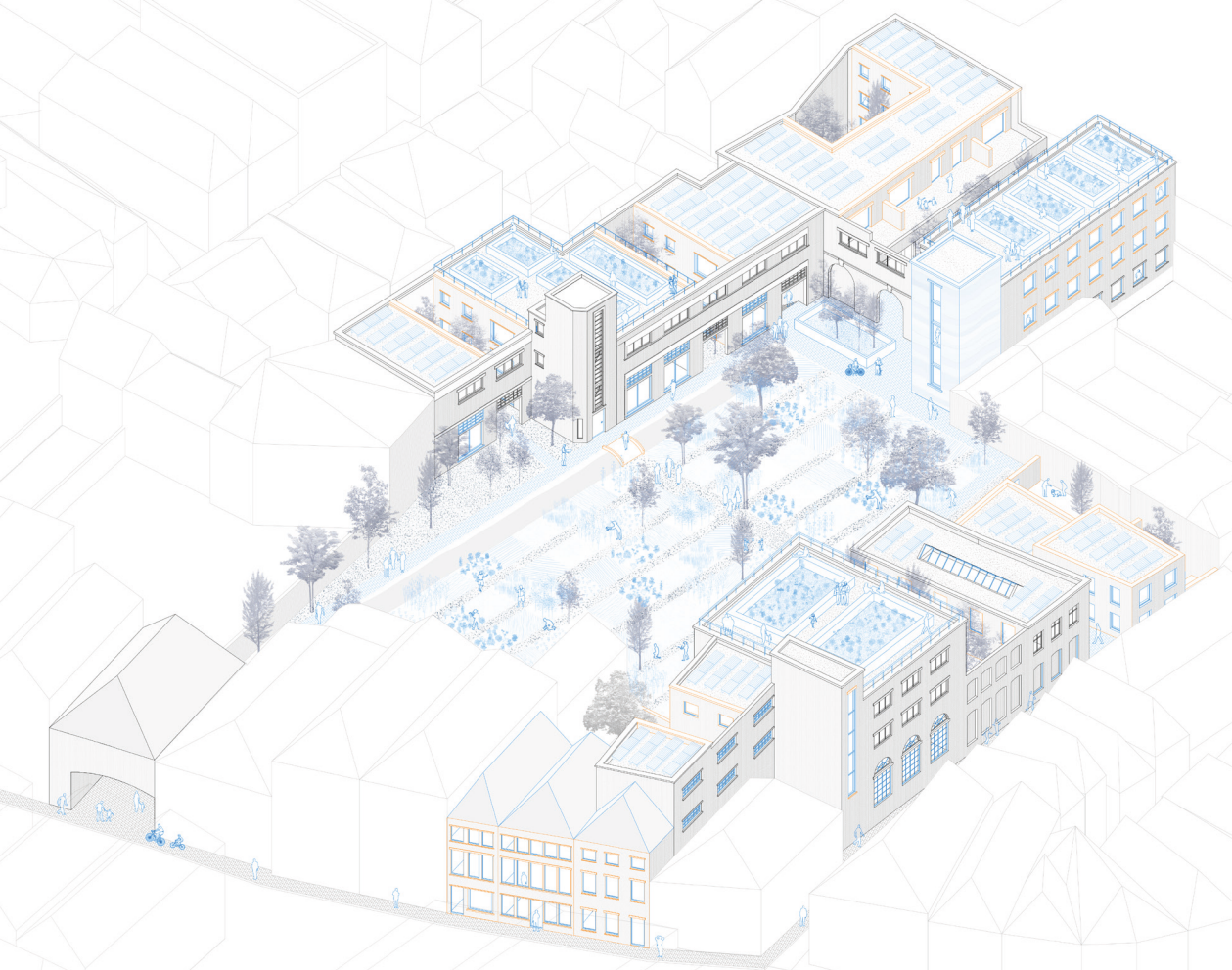


**LA FRUGALITÉ,
VERS UN RENOUVEAU DE L'ARCHITECTURE**



LA FRUGALITÉ, VERS UN RENOUVEAU DE L'ARCHITECTURE

En quoi la réhabilitation en centre urbain permet-elle d'atteindre la frugalité ?

Mémoire présenté par Antoine Meinsier en vue de l'obtention du diplôme d'architecte.

Promoteur - Eric Van Overstraeten.

Faculté d'architecture, d'ingénierie architecturale et d'urbanisme.

UCL - LOCI Tournai.

Année académique 2022 - 2023

Je souhaite remercier l'ensemble des personnes qui m'ont accompagné de près ou de loin dans ce travail et plus généralement, dans mes études.

Dans un premier temps, je voudrais remercier mon promoteur, M. Eric Van Overstraeten pour son implication, sa disponibilité et ses conseils avisés tout au long de ces deux dernières années.

Merci également à mes professeurs de l'atelier 1.618, Messieurs Martin Outers, Daniel Otero Pena et Luca Sgambi, pour leur pédagogie et leur partage de connaissances.

Merci à M. François Hennart pour son temps, son expertise et ses conseils éclairés.

Je remercie également mes amis pour tous les bons moments de positivité qu'ils m'ont apportés durant mon cursus.

À mon frère Maxime, pour son écoute et sa bienveillance.

À mes parents, Esthel et Sébastien qui m'ont soutenu et encouragé depuis toujours.

À ma copine Amandine, pour son soutien inconditionnel me poussant à donner le meilleur de moi-même.

Et pour finir, merci à vous, pour votre lecture.

Nous vivons dans un monde consumériste en tout point. Nous, les êtres humains, surexploisons l'énergie et les ressources naturelles, dont la consommation a pratiquement doublé depuis les années 1980. Ces ressources ne sont pas sans fin, elles possèdent une limite à partir de laquelle naîtra un déséquilibre social, économique et environnemental.

Dans un même temps, les villes ne cessent d'évoluer et de se moderniser. Celles-ci s'étalent, la nature recule et les centres urbains se désertifient massivement au profit des campagnes bétonnées. Par cet accroissement, les émissions de CO₂¹ sont en constante augmentation, polluant l'air, les sols et l'eau.

1 CO₂ : Dioxyde de carbone

Le secteur du bâtiment fait partie des responsables, Stéphanie Carlisle en témoigne ainsi : « *Je pollue la planète depuis des années [...] j'ai passé ma vie professionnelle à aider une industrie qui est responsable de près de 40% des émissions climatiques mondiales. Je ne travaille pas pour une compagnie pétrolière ou gazière. Je ne travaille pas pour une compagnie aérienne. **Je suis architecte.*** »².

2 Stéphanie Carlisle, *I've been polluting the planet for years. I'm not an oil exec—I'm an architect*, Fast Company, <https://www.fastcompany.com> Consulté le 08/08/2022.

Par conséquent, les dérèglements climatiques ne cessent d'augmenter. L'écosystème terrestre est alors fragilisé et plus directement ses habitants, constamment touchés par la sécheresse, la montée des eaux ou bien encore les catastrophes naturelles.

À l'heure où le retour en arrière n'est plus possible, « *Nous devons envisager la fragilité de la planète et de ses ressources comme une opportunité pour l'innovation dans la conception, plutôt que comme une forme de légitimation technique à des solutions conventionnelles. Par extension, les problèmes auxquels nos régions et nos villes font face seront l'occasion de définir une nouvelle approche* »³.

3 Mohsen Mostafavi, Gareth Doherty, *Ecological Urbanism*, 2016, p.17.

En tant qu'architecte, nous devons et pouvons changer les choses ; changer notre manière de voir, concevoir et (re) construire les villes de demain. La notion de frugalité en architecture est une nouvelle alternative pour répondre aux enjeux du siècle. Il s'agit de construire mieux qu'hier en utilisant toujours moins de ressources et d'énergie pour préserver le monde de demain.

Selon moi, la réhabilitation en architecture est une alternative durable pour atteindre la frugalité. Même si nos villes connaissent un étalement ainsi qu'une multiplication des polarités et des centralités, les friches urbaines, les bâtiments abandonnés et délaissés y subsistent.

Ces espaces délaissés sont des opportunités pour construire plus durablement nos villes en réutilisant l'existant comme matière grise déjà construite. Elles représentent des enjeux économiques, sociaux, politiques et écologiques dont la démolition, extrêmement polluante dans ses déchets, est à proscrire.

L'enjeu de demain est donc de **ménager** plutôt qu'aménager le territoire. À travers ce mémoire, je souhaite m'impliquer dans cette démarche, afin de trouver des alternatives permettant de construire mieux et plus durablement pour aujourd'hui comme pour demain.

SOMMAIRE

| | | | |
|--|------------|--|--|
| REMERCIEMENTS | 5 | | |
| AVANT-PROPOS | 7 | | |
| INTRODUCTION | 11 | | |
| CHAPITRE 1 : L'URGENCE ENVIRONNEMENTALE | 19 | | |
| 1. Les limites de notre monde | 21 | | |
| 1.1 L'Anthropocène | | | |
| 1.2 La grande accélération | | | |
| 2. Le dérèglement climatique, des conséquences irréversibles | 31 | | |
| 2.1 Les effets physiques : la hausse des températures | | | |
| 2.2 Les effets physiques : l'augmentation des catastrophes naturelles | | | |
| 2.3 Les effets physiques : la fonte des glaces | | | |
| 2.4 Les effets sur les humains : les déplacements de populations | | | |
| 2.5 Les effets sur les humains : la pénurie de nourriture et d'eau | | | |
| 3. La responsabilité des architectes | 41 | | |
| 3.1 Le secteur de la construction et sa consommation d'énergie | | | |
| 3.2 Le secteur de la construction et son émission de CO2 | | | |
| 3.3 Le secteur de la construction et la gestion des déchets | | | |
| 3.4 Le secteur de la construction et sa consommation en matières premières | | | |
| 3.5 Les stars architectes et l'architecture déconstructiviste : | | | |
| Entre esthétique et durabilité | | | |
| 4. Conclusion | 51 | | |
| CHAPITRE 2 : LA FRUGALITÉ | 53 | | |
| 1. La frugalité, un nouveau mode de pensée | 55 | | |
| 1.1 La ville frugale | | | |
| 1.2 La notion de frugalité | | | |
| 2. La frugalité, objectifs et engagements | 67 | | |
| 2.1 Préserver le sol comme notre Terre | | | |
| 2.2 Anticiper le dérèglement climatique | | | |
| 2.3 Ecrire et concrétiser les nouveaux récits territoriaux | | | |
| 3. Conclusion | 91 | | |
| CHAPITRE 3 : LA FRUGALITÉ, ÉTUDE DE CAS DE LA VILLE DE TOURNAI | 93 | | |
| 1. Reconstruire la ville sur la ville | 95 | | |
| 1.1 Etat des lieux en Wallonie | | | |
| 1.2 La ville de Tournai | | | |
| 1.3 Les sites à réaménager | | | |
| 1.4 La ville frugale | | | |
| 1.5 L'infiltration comme reconnexion | | | |
| 1.6 L'histoire du site | | | |
| 1.7 Etat des lieux | | | |
| 1.8 La densité comme objectif | | | |
| 2. Une restructuration frugale | 123 | | |
| 2.1 Soustraire pour révéler | | | |
| 2.2 La frugalité en matière | | | |
| 2.3 La réutilisation de la matière | | | |
| 2.4 Une revanche de la biodiversité | | | |
| 2.5 Une autonomie | | | |
| 3. Habiter autrement | 139 | | |
| 3.1 Organisation typologique du site | | | |
| 3.2 Un noyau aux multiples fonctionnalités | | | |
| 3.3 Une nouvelle enveloppe | | | |
| CONCLUSION | 157 | | |
| BIBLIOGRAPHIE | 164 | | |
| ICONOGRAPHIE | 169 | | |
| ANNEXES | 171 | | |

Introduction

« Notre maison brûle et nous regardons ailleurs. La nature, mutilée, surexploitée ne parvient plus à se reconstituer et nous refusons de l'admettre. L'humanité souffre. Elle souffre de mal-développement, au nord comme au sud, et nous sommes indifférents. La terre et l'humanité sont en péril et nous en sommes tous responsables. »¹

¹ Jacques Chirac, *Discours lors du sommet de la terre*, organisé par l'ONU, 2002, Johannesburg.

1 GES : Gaz à effet de Serre.

2 Commission mondiale sur l'Environnement et le Développement, *Notre avenir à tous*, 1987.

3 IBID.

4 WWF (World Wide Fund for Nature), *Lutter contre le dérèglement climatique*, <https://www.wwf.fr/champs-d'action/climat-energie/dereglement-climatique> Consulté le 12/09/2022.

5 IBID.

Nous vivons dans un monde où l'urgence climatique est devenue plus qu'une préoccupation, c'est un enjeu mondial. La révolution industrielle du 19^{ème} siècle a marqué un tournant au niveau des sociétés, de l'économie, mais surtout de l'écologie, causant un dérèglement climatique. Ce n'est qu'en 1972, à la suite de l'augmentation des GES¹ dans l'atmosphère, aux catastrophes naturelles croissantes et à l'élévation du niveau de la mer, que les premières prises de conscience se sont exprimées.

Notamment sur le fait qu'un développement économique et démographique sans fin est incompatible dans un monde où les ressources sont limitées. C'est par ce constat qu'en 1982, le livre « *Notre avenir à tous* »² apporte une nouvelle notion : le *développement durable* qui se définit comme « *un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs* »³.

Malgré ces prises de conscience et les diverses remises en question, l'être humain n'a pas cessé ni changé son développement. La croissance démographique est en constante hausse, les ressources naturelles se vident et la pollution liée à l'être humain explose. Selon WWF, depuis 800 000 ans la concentration en GES dans l'atmosphère n'a jamais été aussi élevée⁴. Pour lutter contre cette surconcentration, l'utilisation de l'énergie fossile est remise en cause. En effet, le modèle énergétique actuel est responsable des « *deux tiers des émissions mondiales* »⁵. Néanmoins, le secteur du bâtiment et ce pendant des décennies, a joui immodérément des ressources non renouvelables de notre planète sans aucune remise en question de la part de la société.

« *Le secteur du bâtiment représente près 50% de la consommation des ressources naturelles sur l'ensemble du territoire européen* »⁶. À cette échelle, on parle d'extractivisme : « *l'extraction de ressources naturelles, de grands volumes et de haute intensité, dont au moins 50 % sont destinés à l'exportation sous forme brute* »⁷.

On y retrouve le sable, comme le relate le documentaire « *Le sable, enquête sur une disparition* »⁸. C'est la deuxième ressource la plus surexploitée derrière l'eau et surpassant largement l'utilisation des énergies fossiles telles que le pétrole. Chaque année, c'est plus de 50 milliards de tonnes qui sont extraites des fonds marins, en grande partie utilisées par le secteur de la construction⁹. Le sable est un composant essentiel du béton, qui représente plus de 70% des constructions en France¹⁰.

Il aura fallu attendre la COP 24¹¹ en 2018 pour que le programme des Nations Unies reconnaisse le secteur de la construction comme un levier encore inexploité pour lutter contre le dérèglement global¹². En effet, ce secteur, au-delà d'être extrêmement polluant avec plus de 123 millions de tonnes de CO₂ émises par année représente « *44 % de l'énergie consommée en France, loin devant le secteur des transports (31,3%)* »¹³.

Paradoxalement, le monde se développe toujours plus vite alors que l'on devrait justement remettre en question notre mode de développement. Les pays émergents connaissent une croissance exponentielle en matière d'urbanisme, par l'utilisation massive du béton comme matériau de construction.

6 Ressources, *Matériaux de construction*, <https://www.ressources.be/fr/filiere-materiaux-de-%20construction/> Consulté le 12/03/2023.

7 Justice & Paix, *Derrière nos écrans : les enjeux de l'exploitation minière*. 2019, p.9.

8 Denis Delestrac, *Le sable enquête sur une disparition*, 2013, par Arte.

9 ONU, *Notre utilisation du sable nous met « le dos au mur »*, <https://www.unep.org/fr/actualites-et-recits/communique-de-presse/notre-utilisation-du-sable-nous-met-le-dos-au-mur-indique> Consulté le 12/03/2023.

10 Union Sociale pour l'habitat, *RE 2020 : le béton, un matériau à l'aube de la révolution*, <https://www.union-habitat.org/actualites/re-2020-le-beton-un-materiau-l-aube-de-la-revolution> Consulté le 16/03/2023.

11 COP : Conférence des Parties.

12 Organisation des Nations Unies, *COP24 : le secteur du bâtiment et de la construction, un potentiel inexploité*, <https://news.un.org/fr/story/2018/12/1031211>, Consulté le 16/03/2023.

13 Ministère de la transition écologique et énergétique, France. *Energie dans les bâtiments*, 2021, <https://www.ecologie.gouv.fr/energie-dans-batiments> Consulté le 01/03/2023.

1 ONU, *Questions thématiques : Population*, <https://www.un.org/fr/global-issues/population> Consulté le 03/03/2023.

En outre, d'ici les 30 prochaines années, la population mondiale connaîtra une hausse de deux milliards d'êtres humains¹. L'expansion des villes semble inévitable, ayant pour conséquence une augmentation de l'utilisation du béton de 12 à 23% d'ici 2050². Au-delà de la consommation en énergie et des émissions de CO₂, le secteur du bâtiment génère une quantité colossale de déchets. Selon Bruxelles Environnement, en Europe, « [...] près de 40% de la quantité totale des déchets provient de matériaux de construction. »³

2 IEA, *La feuille de route de la technologie du ciment*, 2018. <https://www.iea.org/news/cement-technology-roadmap-plots-path-to-cutting-co2-emissions-24-by-2050> Consulté le 12/09/2022.

Puisque la croissance de la population est un facteur incontrôlable, il est nécessaire de composer avec la croissance urbaine. Actuellement, plus de 50% de la population mondiale habite en ville.

3 Bruxelles environnement, *Comment limiter les déchets de construction*, p.1

Selon l'ONU, ce sera presque les deux tiers qui vivront en milieu urbain d'ici 2050⁴. L'urbanisation massive autour des villes conduit au phénomène d'étalement urbain, défini comme « l'augmentation de la superficie d'une ville, et la diminution de sa densité de population »⁵. Ce phénomène engendre une artificialisation des sols, car le plus souvent, elle s'effectue dans les campagnes entraînant une perte de la biodiversité et des terres agricoles.

4 Banque mondiale, *Développement urbain*, 2022. <https://www.banquemondiale.org/fr/topic/urbandevelopment/overview> Consulté le 12/09/2022.

Face à la contradiction entre le développement de l'être humain et les prises de conscience écologiques, il est nécessaire de trouver des alternatives au mode de croissance actuel. Par conséquent, un terme émerge depuis quelques années : **la frugalité**.

5 Géoconfluence, *Définition de l'étalement urbain*, 2020. <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/etalement-urbain-urban-sprawl-expansion-urbaine>. Consulté le 03/03/2023.

La frugalité est politique, sociale, environnementale, culturelle et économique. Elle englobe l'énergie, mais ne s'y résume pas. Elle prône l'économie de matière en s'opposant à la tendance de surconsommation et à l'exubérance des constructions qui ont prévalu pendant des décennies. Dans la pratique, cela se traduit par des bâtiments économes en énergie, conçus de manière à minimiser leur impact environnemental et leur coût de construction.

Il existe une multitude de manières de diminuer l'empreinte énergétique d'un bâtiment de sa conception à son exécution, jusqu'à son utilisation. D'après l'ingénieur Alain Bornarel, « *la frugalité, c'est d'abord la réhabilitation* W/W/W⁶. Réhabiliter un bâtiment, au-delà de préserver une histoire, une trace, c'est conserver une enveloppe, une structure, une matière.

Étant donné l'énorme quantité d'énergie nécessaire pour construire un bâtiment, on se doit de la préserver autant que possible en réhabilitant les édifices existants.

Réhabiliter oui, mais pas n'importe où. Les centres urbains offrent plusieurs opportunités pour re (créer) les villes de demain dans une démarche frugale. Construire et habiter en ville permet de lutter contre l'étalement urbain, consommateur de territoire repoussant de plus en plus la campagne. De plus, cela permet de diminuer les mobilités individuelles polluantes favorisant la mobilité douce telle que le vélo.

Ce travail de fin d'études tend à trouver des solutions et des alternatives permettant de concevoir de manière plus durable la ville et les bâtiments de demain en intégrant cette notion de frugalité. Il tentera ainsi de répondre à la problématique suivante :

En quoi la réhabilitation en centre urbain permet-elle d'atteindre la frugalité ?

Dans un premier temps, nous réaliserons un état des lieux de la situation climatique actuelle. Nous aborderons l'impact que l'être humain a pu avoir sur le dérèglement climatique avec notamment une précision sur le secteur de la construction.

Dans un second temps, nous aborderons les différentes réponses liées à ces enjeux à travers la notion de frugalité.

Pour finir, le troisième temps sera consacré à la présentation concrète de ces concepts par le biais de la réalisation d'un projet impliqué dans une démarche de diminution de l'impact écologique des bâtiments.

6 Bornarel Alain, *Les entretiens de l'observatoire de la qualité architecturale du logement en Ile-de-France*, par CAUE, 2020. <https://www.caue-idf.fr/exploration-2020/alain-bornarel> Consulté le 10/08/2022.

CHAPITRE 1

L'URGENCE ENVIRONNEMENTALE

1.1 L'Anthropocène



La ville de Tournai en plein essor lors de la révolution industrielle, l'ancienne savonnerie Pollet.

Auteur inconnu.

Notre planète a connu l'ère glaciaire du Pléistocène, suivie du début de l'Holocène il y a 10 000 ans. Les conditions climatiques de cette période ont été favorables au développement de l'Homo sapiens qui y a connu sa plus grande expansion. Celle-ci s'est accompagnée des premières grandes modifications écologiques telles que l'extinction des espèces mégafaunes débutée lors de la fin de l'ère glaciaire. L'Holocène est caractérisé par des milliers d'années de stabilité du climat mondial et du niveau de CO₂.

La stabilité écologique a favorisé le développement de la biodiversité et de la civilisation humaine jusqu'à l'avènement de la révolution industrielle au XIX^e siècle. Celle-ci a engendré la transition de la production artisanale à la production industrielle de masse, accompagnée de l'exploitation croissante des réserves pétrolières, minières et de gaz naturel. Ce changement brutal a entraîné une augmentation significative des émissions de CO₂, mettant en péril l'équilibre de la biosphère.

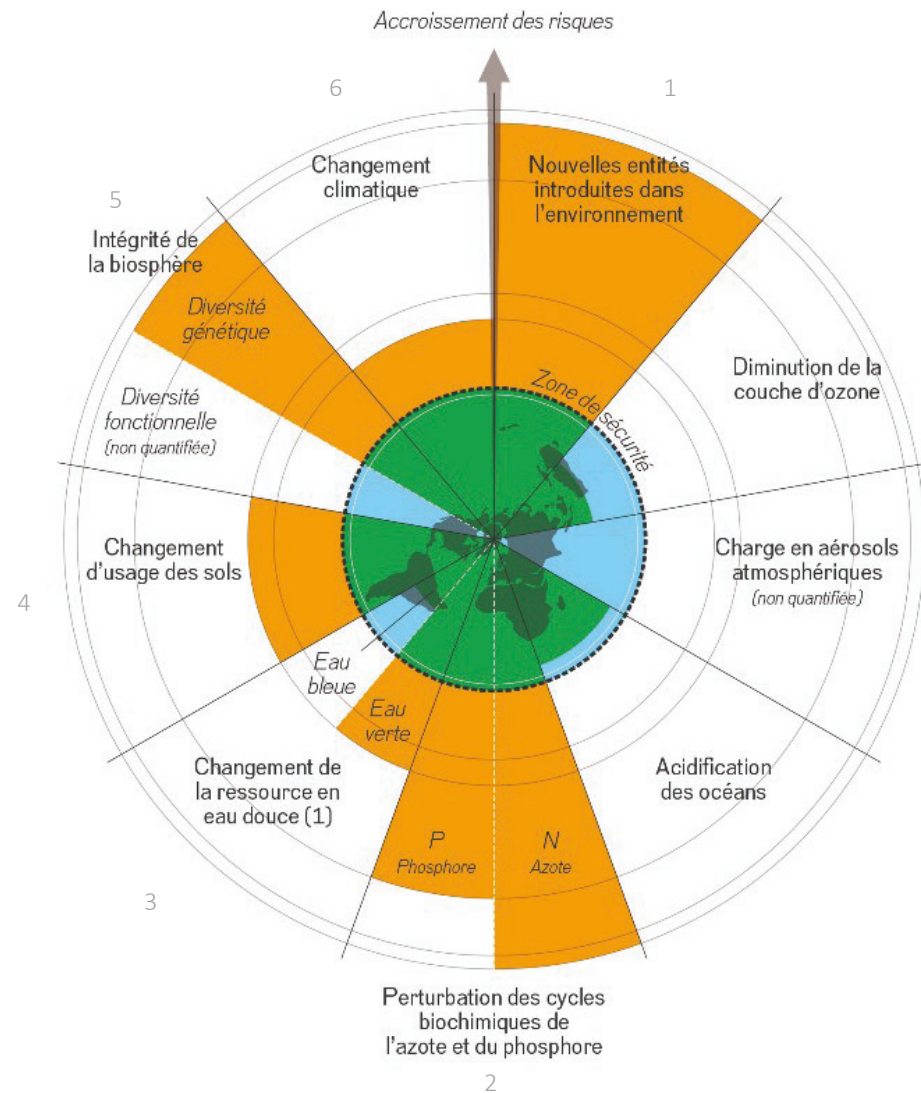
Au fil du temps, les sociétés ont connu un développement rapide grâce aux avancées technologiques et scientifiques, plaçant l'être humain au sommet de la chaîne alimentaire.

Dans cette quête d'innovation et de croissance, l'être humain a négligé le fait que les ressources ne sont pas infinies et que la biosphère est vulnérable. Cela a donné lieu à l'émergence d'une nouvelle ère : l'Anthropocène, marquant ainsi la fin de l'Holocène.

Le préfixe «anthropo», ajouté au terme Holocène par P. Crutzen en 2000, donne « l'Anthropocène » qui définit l'ère suivante de la Terre et de son changement global avec le facteur de l'être humain.

L'équilibre de la Terre se base sur celui des éléments pour y permettre la vie. Selon le rapport du *Stockholm Resilience Center*¹, la Terre trouve son équilibre selon **neuf processus**. Actuellement, six d'entre eux ont presque atteint ou dépassé leur seuil de non-retour.

¹ Technol. Environ. Sci, *Outside the Safe Operating Space of the Planetary Boundary for Novel Entities*, 2022, <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c04158>
Consulté le 22/04/2023.



Les neuf limites planétaires et leur seuil de dépassement, 2022.

S. Jungers / Reporterre.

1-Les nouvelles entités introduites dans l'environnement. Ces polluants, contrairement au CO_2 , ne sont pas présents naturellement, mais issus de l'activité humaine¹. Depuis la révolution industrielle, ils ont été multipliés par 50 avec plus de 350 000 produits chimiques polluants présents sur terre.

2-La perturbation des cycles de l'azote et du phosphore. Les rejets sont causés par les pesticides utilisés dans l'agriculture, augmentant la concentration des gaz dans l'atmosphère. Cette surconcentration engendre une eutrophisation² et une anoxie³ des eaux et donc, la perte des écosystèmes aquatiques.

3-L'utilisation de l'eau est distinguée en deux points : l'eau bleue et l'eau verte, toutes deux issues des précipitations naturelles. L'eau bleue est recueillie par les nappes souterraines, sa limite n'est pas encore atteinte mais son usage intensif en agriculture est contesté. L'eau verte est absorbée par les végétaux dont les assèchements perturbent les écosystèmes, cela est visible en agriculture avec les pertes de récoltes toujours plus intenses.

4-Le changement d'usage des sols, en lien avec la perte des forêts. Celles-ci permettent de lutter contre la surconcentration de CO_2 dans l'atmosphère en l'absorbant à travers sa biomasse. Pour conserver l'équilibre entre émission et absorption, il faut préserver au moins 75% des forêts initialement boisées, actuellement nous ne sommes plus qu'à 62%⁴.

5-L'intégrité de la biosphère est liée à la perte des êtres vivants. Le seuil se situe en dessous de 10 espèces éteintes par an pour un million d'entre elles. Aujourd'hui, il est 10 à 100 fois supérieur avec plus de 25% des espèces menacées d'extinction⁵.

6-Le changement climatique se base sur le taux de concentration en CO_2 dans l'atmosphère dont la limite se situe entre 350 et 450 ppm⁶. En 2022 il était de 420ppm⁷.

Ces limites atteintes ou menacées sont en partie dues à l'impact des activités humaines. Le franchissement de celle-ci annonce la rupture de l'équilibre entre la Terre et tous les organismes vivants. « Cette rupture porte un nom : l'Anthropocène »⁸.

1 Eléments radioactifs, métaux lourds, peinture.

2 Prolifération des algues marines.

3 Réduction de la concentration d'oxygène.

4 Ministère de la transition écologique, *Rapport de synthèse sur l'environnement en France*, 2019.

5 ONU, *World is 'on notice' as major UN report shows one million species face extinction*, 2019. <https://news.un.org/en/story/2019/05/1037941> Consulté le 24/04/2023.

6 PPM (parties par millions)

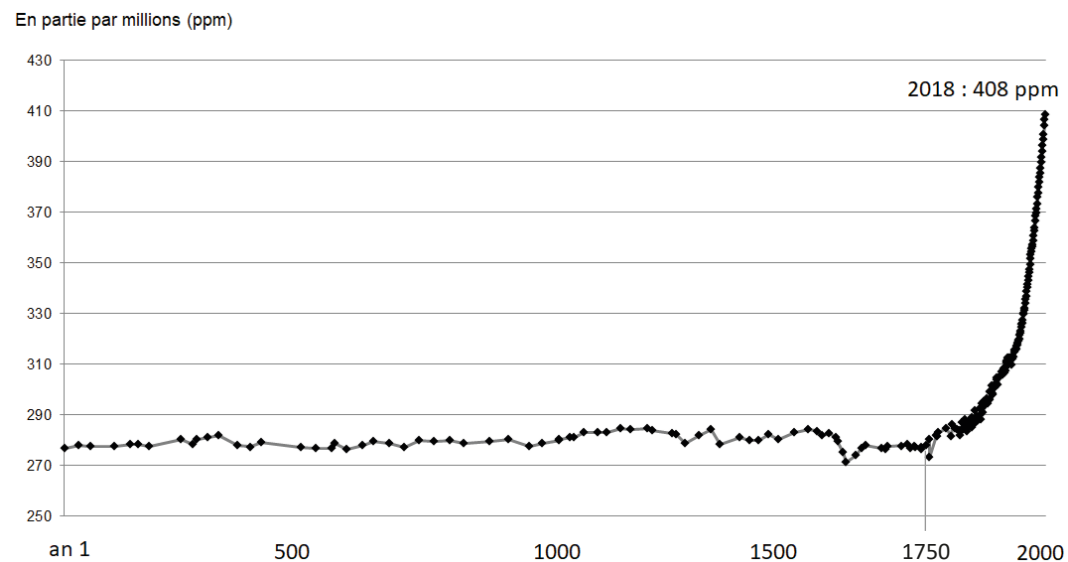
7 Robert Monroe, *Atmospheric carbon dioxide levels reach new high*, 2022. <https://scripps.ucsd.edu/news/atmospheric-carbon-dioxide-levels-reach-new-high> Consulté le 24/04/2023.

8 F. Gemenne, A. Rankovic, *Atlas de l'Anthropocène*, Presses De Sciences Po, 2021, p.10

1.2 La grande accélération

« Il aura fallu 200 ans de modernisme et de capitalisme industriel réunis, assez souverain et violent à la fois, pour que l'humanité se retrouve dans la situation actuelle »¹.

¹ Philippe Madec, *Mieux avec moins*, Terre Urbaine, 2021, p.46



Evolution de la concentration en CO₂ dans l'atmosphère.

Notre environnement, France.

En comparant l'Histoire de notre planète à une journée de 24 heures, « l'apparition de l'*Homo habilis* il y a deux millions d'années s'est produite dans la dernière minute. L'Holocène dans le dernier quart de seconde et la révolution industrielle dans les deux derniers millièmes de seconde »².

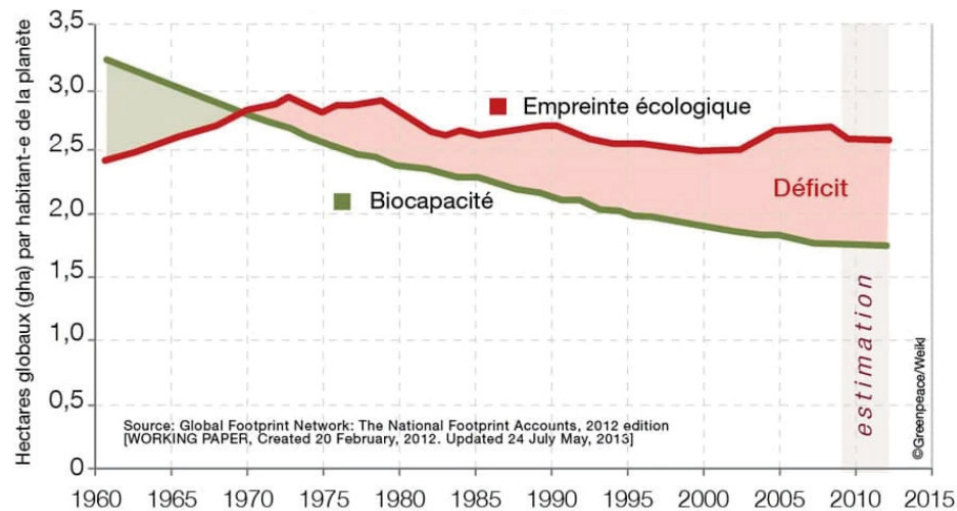
À l'échelle de la Terre, l'être humain ne l'occupe que depuis très peu de temps, si ce n'est pour dire quasiment pas. Cependant, il a suffi seulement de 200 ans pour que l'on réussisse à créer **un déséquilibre écologique**. Depuis la révolution industrielle de 1750, la concentration en CO₂ a augmenté de plus de 45% en raison du développement des activités humaines, notamment par l'industrialisation de la production.

² C. Bonneuil, J.B Fressoz, *L'événement de l'anthropocène : La terre, l'histoire et nous*, Seuil, 2013.

Le CO₂ fait partie des GES³ présents naturellement dans l'atmosphère. Ces gaz appartiennent au vivant et contribuent à l'effet de serre (processus par lequel les gaz retiennent la chaleur émise par la Terre et le Soleil). Ils assurent une température moyenne globale qui a permis le développement sur Terre de la vie telle que nous la connaissons.

³ GES : Gaz à effet de serre.

La surconcentration des GES dans l'atmosphère entraîne une augmentation de la température et par conséquent, un bouleversement de l'équilibre naturel. Cet accroissement a évolué de manière exponentielle depuis la révolution industrielle et n'est jamais redescendu depuis. Au fur et à mesure des avancées technologiques, c'est toujours plus de CO₂ qui est émis.



Evolution de la biocapacité disponible et de l'empreinte écologique moyenne des habitants au niveau mondial depuis 1960.

Footprint Network.

C'est également depuis la révolution industrielle que l'être humain a atteint un point de non-retour. Le modèle des sociétés industrielles et la population en constante hausse ont fait que notre consommation en ressources primaires s'est vue surexploitée. C'est en 1990 que des indicateurs ont été mis en place, permettant alors de quantifier la pression exercée par l'être humain sur ses propres ressources : **l'empreinte écologique** et **la biocapacité**.

L'empreinte écologique mesure l'impact de notre mode de vie sur la planète en quantifiant la quantité de terres agricoles, d'eau et d'autres ressources naturelles nécessaires pour répondre aux besoins d'une population, ainsi que notre quantité émise de CO₂. Cette mesure représente le nombre d'hectares dont une personne a besoin pour la production de ressources et l'absorption de ses déchets, on parle en HAG¹.

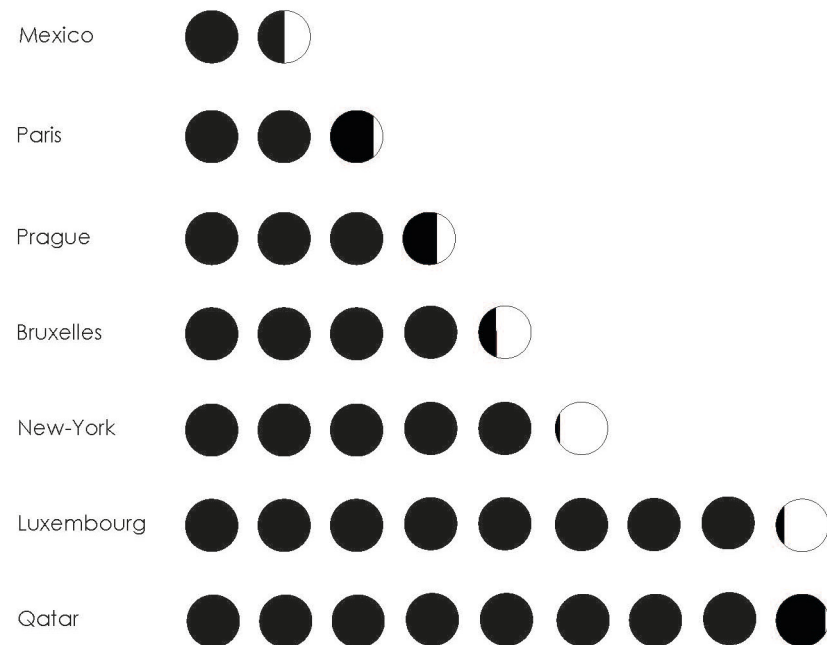
Rapportée à l'échelle mondiale, l'empreinte écologique moyenne de tous les habitants est globalement constante depuis 1960 à environ 2,5 HAG par personne. Cependant, par les différents modes de vie des sociétés, on obtient des écarts importants. Aux États-Unis, l'empreinte écologique moyenne d'un habitant est de 8,1 HAG, par rapport à un Français qui lui est de 4,4 HAG ou encore d'un Sénégalais de 1,4 HAG².

La biocapacité fait référence à la capacité de la planète à produire des ressources naturelles renouvelables et à absorber les déchets produits par l'activité humaine, tout en maintenant la régénération des écosystèmes. Cela correspond à la capacité terrestre à soutenir toute forme de vie en fournissant des ressources et en éliminant les déchets.

Depuis 1970, l'empreinte écologique moyenne mondiale est devenue supérieure à la biocapacité disponible : **l'être humain consomme plus de ressources qu'il n'en existe sur terre**. À terme, si nous continuons à exploiter les ressources naturelles de manière excessive et à polluer l'environnement, nous risquons d'épuiser ces ressources disponibles, de détruire les écosystèmes et de mettre en danger la survie des espèces vivantes, y compris la nôtre.

1 Hectares globaux

2 D'après les données de FOOTPRINTNETWORK <https://data.footprintnetwork.org/#/> Consulté le 04/04/2023



Nombre de planètes nécessaires pour assurer les besoins des êtres humains si la population mondiale vivait comme à...

Iconographie réalisée par l'auteur.

Donnée source : Footprintnetwork.org, Consulté le 29/03/2023.

En France, la biocapacité est constante et a pour valeur 2,8 HAG par personne. Cependant, un français a pour empreinte écologique 4,4 GHA ce qui nous donne un déficit de 1,6 HAG par personne. En résumé, un Français consomme plus de ressources que le territoire n'en dispose.

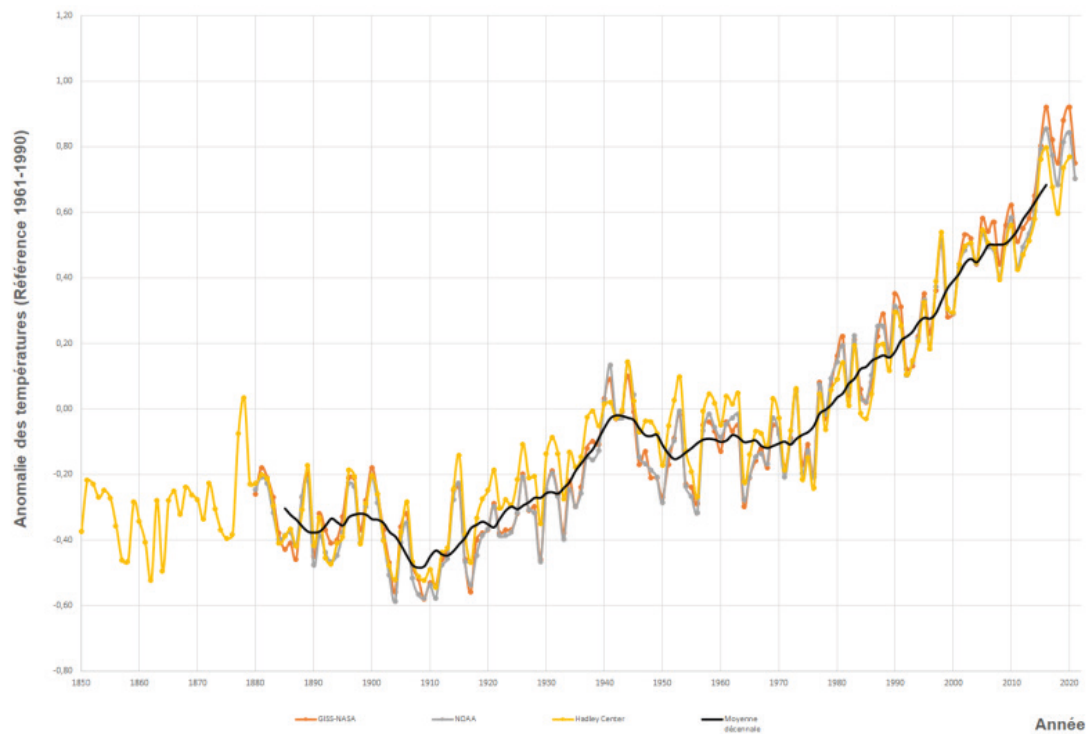
Les villes jouent également un rôle dans le changement climatique. Celles-ci représentent seulement 2% de la surface de la Terre et pourtant, elles sont responsables de plus de 78% de la consommation d'énergie mondiale et sont émettrices de plus de 60% de gaz à effet de serre dans le monde¹.

Selon les villes, les cultures ou les modes de vie, la pression exercée sur nos ressources n'est pas la même. L'empreinte écologique est un moyen de quantifier le besoin en ressources naturelles des différentes populations. Par ce biais, nous pouvons calculer le nombre de planètes nécessaires pour assurer les besoins des êtres humains en fonction du mode de consommation d'un groupe d'habitant. Si toute la population mondiale vivait comme un habitant de Paris, il faudrait alors 2,9 planètes Terre pour qu'elle puisse produire des ressources et absorber les déchets. Cette consommation est d'autant plus élevée dans les pays consuméristes tels que le Qatar. Actuellement, **nous sommes en train de vivre à crédit.**

¹ ONU, *Generating power*, <https://www.un.org/>. Consulté le 03/04/2023

2.1 Les effets physiques : la hausse des températures

Evolution des températures moyennes mondiales de 1850 à 2021



Evolution des températures moyennes mondiales depuis 1850 selon plusieurs sources.

NASA, NOAA, Hadley Center.

Le réchauffement climatique est clairement apparent. Avec une évolution constante depuis qu'il a été mesuré pour la première fois en 1850, selon le GIEC¹, la température moyenne à la surface de la Terre a augmenté de **+1,1°C**².

« Chaque décennie qui passe accélère la hausse de la température » souligne l'OMM³, qui soutient que l'année 2020 fut la plus chaude en Europe et dans le monde. On recense partout sur la planète des hausses significatives de températures, parfois extrêmes, même en Europe. Selon le GIEC, tous scénarios confondus, la température moyenne augmenterait de +1,5°C d'ici 2030⁴ et +2°C d'ici l'an 2100.

L'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère participe donc au réchauffement climatique. Celui-ci, au-delà d'augmenter la température moyenne, provoque des dérèglements au sein de la biosphère terrestre entraînant ainsi des catastrophes naturelles.

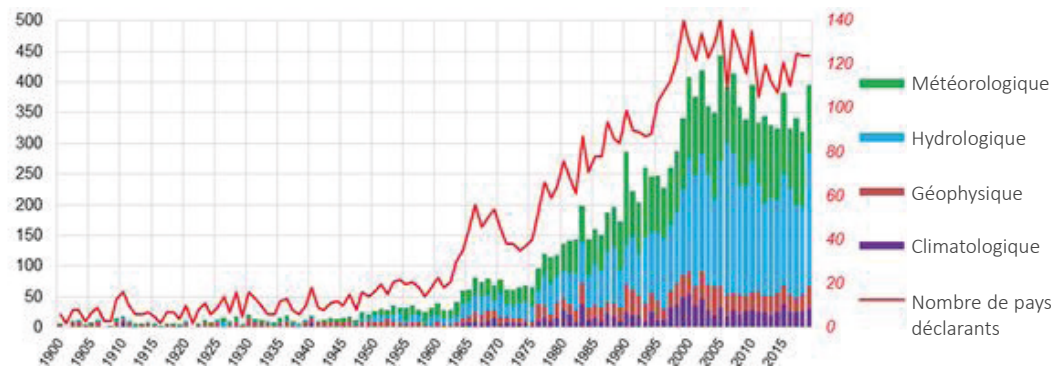
1 GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

2 GIEC, *Rapport de 2023*, p.6

3 O M M , O r g a n i s a t i o n M é t é o r o l o g i q u e M o n d i a l e) , 2 0 1 9 se classe au deuxième rang des années les plus chaudes observées, 2020. <https://public.wmo.int/fr> Consulté le 15/07/2022.

4 GIEC, *Rapport de 2023*, p.23

2.2 Les effets physiques : l'augmentation des catastrophes naturelles



Augmentation du nombre de catastrophes naturelles depuis 1900.

EM-DAT

On dénombre **quatre dérèglements** : météorologiques, hydrologiques, géologiques et climatologiques. D'après la confédération OXFAM¹, « *Le nombre de catastrophes liées au climat a triplé dans les trente dernières années* ».

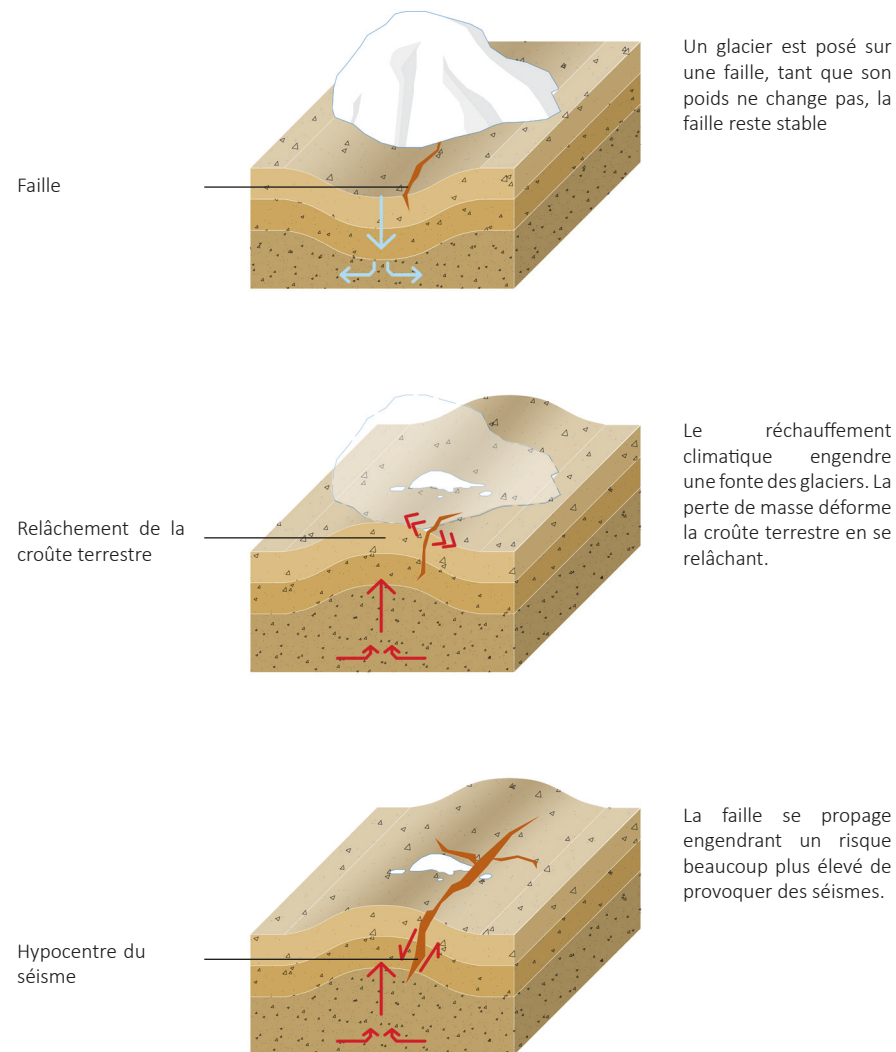
La hausse des températures entraîne un risque majeur climatique qui est le phénomène de sécheresse. Celui-ci provoque des problèmes liés aux incendies devenus monnaie courante. Les régions les plus froides du globe ne sont pas épargnées. La Sibérie est en feu alors que le mercure est rarement du côté positif sachant que « *des incendies incontrôlables s'étendent sur une dizaine de régions du pays qui couvrent une surface équivalente à celle de la Belgique* »².

Cette sécheresse vise également la biodiversité et les cultures agricoles. Le manque d'eau dans les sols et les nappes phréatiques devient de plus en plus fréquent menaçant ainsi toutes formes de vies.

1 OXFAM (organisme luttant contre les inégalités pour mettre fin à la pauvreté et aux injustices), *Changement climatique : cinq catastrophes naturelles qui demandent une action d'urgence*, <https://www.oxfam.org/fr> Consulté le 19/07/2022.

2 Benoît Vitkine, *Feux en Sibérie*, 2019. <https://www.lemonde.fr/> Consulté le 19/07/2022.

2.3 Les effets physiques : la fonte des glaces



Relation entre fonte des glaces et modification de la croûte terrestre

Iconographie réalisée par l'auteur.

La fonte des glaces est une autre conséquence préoccupante du réchauffement climatique. Celle-ci entraîne avec elle des phénomènes sismiques, des pollutions importantes et une inévitable montée des eaux.

La scientifique Rebekka Steffen étudie la corrélation entre la fonte des glaces et la hausse du nombre de phénomènes sismiques. Les glaciers exercent une pression importante sur la croûte terrestre. Lorsque ceux-ci fondent et perdent de leur masse en un point, la croûte terrestre se relâche pour reprendre une forme plane. Ce phénomène entraîne une modification des tensions dans la croûte terrestre provoquant des séismes dans le monde¹.

Au-delà des phénomènes sismiques, sa fonte est un problème majeur de par les gaz qu'elle renferme. Elle contient du CO₂, mais surtout du méthane qui possède un pouvoir réchauffant trente fois supérieur au CO₂. Si la fonte glaciaire perdure, ce serait l'équivalent de quinze années d'émissions humaines émises dans l'atmosphère². De plus, ces glaces contiennent du mercure, un métal toxique présent en grande quantité dans le Groenland.

Elle se compose également de virus, dont certains sont enfermés depuis des dizaines de milliers d'années³. La fonte des glaces entraînerait des risques sanitaires menaçant la chaîne alimentaire et notre propre sécurité. Selon Marina Fabre, rédactrice en chef de Novethic, la fonte des glaces représente « **une bombe à retardement** »⁴.

Enfin, la fonte des glaciers entraîne également une hausse du niveau de la mer. Selon le rapport du GIEC datant de 2023, celui-ci s'est élevé de 20 cm entre 1901 et 2018. « *Le taux moyen d'élévation était d'environ 1,7mm/an au cours du 20^e siècle. Ce taux est passé à environ 3,2mm/an entre 1993 et 2010* »⁵.

1 Rebekka Steffen, *Un lien entre changement climatique et séismes à l'origine de tsunamis inattendus ?* 2021. <https://www.axa-research.org/> Consulté le 09/03/2023.

2 Philippe Madec, *Mieux avec moins*, Terre Urbaine, 2021, p.34

3 Ludovic Lupin, *Avec le dégel du permafrost, le réchauffement climatique va largement dépasser les 4°C*, 2018. <https://www.novethic.fr/> Consulté le 13/08/2022.

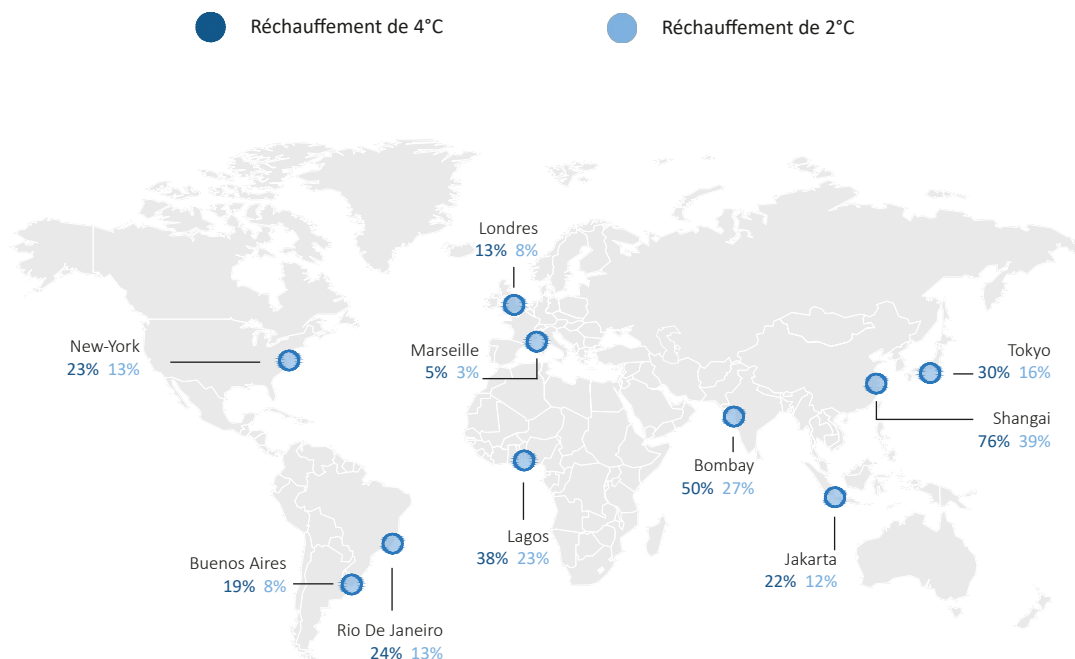
4 Marina Fabre, *marée noire en arctique*, 2020. <https://www.novethic.fr/> Consulté le 13/08/2022.

5 CLIMAT.BE, *La température des océans augmente*, 2019. <https://climat.be/changements-climatiques/changements-observees/océans> Consulté le 01/03/2023

2.4 Les effets sur les humains : les déplacements de populations

LES GRANDES VILLES MENACÉES PAR LA MONTÉE DES EAUX

Pourcentage de la population menacée en fonction des différentes villes



Montée des eaux : deux scénarios, plusieurs menaces.

Iconographie réalisée par l'auteur.

Donnée source : Climate Central, consulté le 16/05/2023

Le dérèglement climatique engendre également des problèmes sociaux, notamment sur la migration de population liée au climat. Chaque année, plus de 20 millions de personnes sont obligées de quitter leur lieu de vie, menacées par les dérèglements climatiques¹.

La montée des eaux menace les grandes villes proches des côtes maritimes. Actuellement, Jakarta sombre peu à peu dans l'océan avec 20% de la ville qui se trouve sous le niveau de la mer.

Les grandes mégalopoles sont également menacées selon deux scénarios, en suivant un réchauffement global de +2°C ou +4°C.

Selon le premier scénario, 8% de la population de la ville de Londres serait menacée par la montée des eaux, soit plus de 700 000 habitants.

Pour le second, ce serait 13% de sa population soit plus d'un million d'habitants. En effet, l'eau s'infiltrerait dans la capitale, engloutissant routes, infrastructures et forçant ses habitants à se déplacer dans les zones épargnées.

La migration des populations est également liée aux événements extrêmes comme les précipitations importantes ou les événements cycloniques. Ceux-ci ne sont pas sans conséquence et ont déjà provoqué « le décès de plus de 2 millions de personnes et des dégâts matériels s'élevant à 3,64 billions de dollars »².

¹ OXFAM, Cop 25 : les catastrophes dues aux changements climatiques, principal facteur de déplacements internes dans le monde, 2019. <https://www.oxfamfrance.org/> Consulté le 01/03/2023.

² OMM, Les catastrophes météorologiques se sont multipliées au cours des 50 dernières années, causant plus de dégâts, mais moins de décès 2021. <https://public.wmo.int/fr> Consulté le 03/03/2023.

2.5 Les effets sur les humains : la pénurie de nourriture et d'eau

Les épisodes de sécheresse deviennent de plus en plus fréquents provoquant un assèchement des nappes phréatiques et mettant en péril la sécurité alimentaire. On parle même aujourd'hui de **sécheresse hivernale** liée aux faibles précipitations à cause de températures trop élevées.

En Australie, selon l'OMM, la sécheresse a fait chuter la production agricole de 18% entre 2002 et 2010. Au-delà de provoquer une insécurité alimentaire, elle amène l'eau à devenir une ressource rare, convoitée et capitalisée. Après la ruée vers l'or et le pétrole, c'est aujourd'hui la ruée vers l'eau qui suscite toutes les convoitises. Depuis 2019, elle est cotée en bourse en Australie, et en 2020 elle entre en bourse à Chicago aux États-Unis : « *Ce n'est pas parce que l'eau c'est la vie qu'elle ne doit pas avoir un prix* »⁵.

Même si en Europe, les pénuries ne se font pas ressentir, c'est dans les pays les moins développés que les sécheresses sont dévastatrices. Comme le souligne l'agence nationale des Nations Unies pour les réfugiés, « *Depuis 2019, un enchaînement de cinq saisons des pluies ratées a provoqué une sécheresse dévastatrice qui affecte des millions de personnes dans la Corne de l'Afrique* »⁶.

Selon l'ONU, il y a actuellement plus de 1,2 milliard de personnes qui vivent dans des zones où l'eau se fait rare. Selon les scénarios, « *près de la moitié de la population de la planète vivra dans des régions soumises à un fort stress hydrique d'ici 2030, dont entre 75 millions et 250 millions de personnes en Afrique* »⁷.

Les déplacements de populations sont aussi inhérents aux événements de forte chaleur. Ces épisodes sont liés à la température humide, dite T_w ¹ qui mesure la chaleur et le taux d'humidité dont le seuil mortel pour l'être humain ne doit pas dépasser 35°C.

Ce seuil, selon le GIEC ne sera pas dépassé avant 2050. Or, au Pakistan et dans les Emirats Arabes Unis, celui-ci a été dépassé pendant plus d'une heure en 2020². On est proche d'atteindre ce seuil en Inde où 3,5 milliards de personnes vivront dans un climat aussi chaud que le Sahara d'ici 2070³.

Ces fortes chaleurs sont d'autant plus importantes en milieu urbain, notamment si nous nous intéressons au phénomène d'**îlot de chaleur urbain**. Il correspond à des élévations locales de températures dues à une concentration de bâtis et de matériaux captant la chaleur.

Cela provoque un microclimat urbain pouvant être bien plus élevé qu'un espace végétalisé situé 10 kilomètres plus loin. Les métropoles sont donc fortement exposées à cet effet d'îlot de chaleur urbain : « *aujourd'hui, 350 villes à travers le monde expérimentent des chaleurs extrêmes (au-dessus de 35°C en moyenne) pendant plus de trois mois par an. En 2050, elles seront 970 à être régulièrement exposées à de telles températures, soit 1,6 milliard d'urbains* »⁴.

1 T_w : Température humide

2 Vincent Lucchese, *Climat : des températures invivables pour l'homme atteintes plus tôt que prévu 2020*. <https://usbeketrica.com/fr> Consulté le 10/04/2023.

3 IBID.

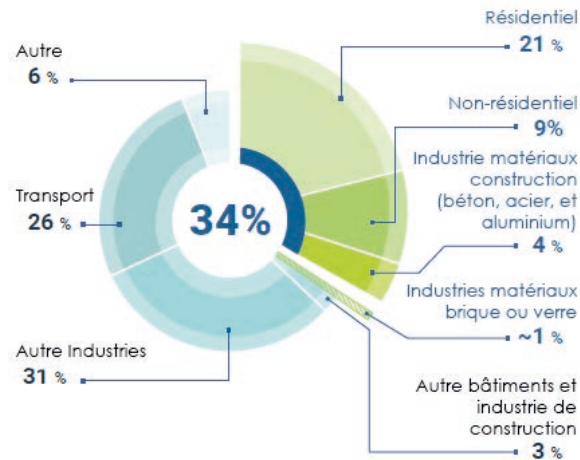
4 Réseau C40, *Atlas des inégalités*, Courrier international, hors-série n°72, 2019, p.71

5 Jérôme Fritel, *Main basse sur l'eau*, 2018, par Arte.

6 UNHCR, *La sécheresse entraîne des pénuries alimentaires qui mettent en danger la vie des réfugiés en Éthiopie*, 2023. <https://www.unhcr.org/be/> Consulté le 08/05/2023.

7 ONU, *Pénurie de l'eau*, <https://www.un.org/fr/waterforlifedecade/themes/scarcity.shtml> Consulté le 17/04/2023.

Part des bâtiments dans la consommation énergétique totale au niveau mondial, 2021.



International Energy Agency.

3.1 Le secteur de la construction et sa consommation d'énergie

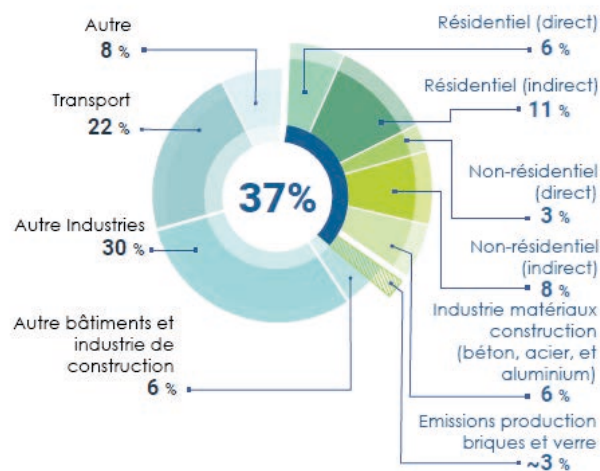
Le secteur du bâtiment est extrêmement énergivore et représente une grande partie de la demande en énergie à l'échelle mondiale. La consommation d'énergie finale représente le total de l'énergie utilisée par tous les secteurs tels que le bâtiment, l'industrie, l'agriculture, le transport, etc.

Selon l'IEA¹, en 2021, le secteur du bâtiment consomme à lui seul plus de **34%** de la consommation d'énergie finale mondiale. Dans ce chiffre sont inclus tous les types de consommation, de la production des matériaux, à leur transport jusqu'à la consommation des bâtiments. Ces derniers représentent une grande part de la consommation à hauteur de 21% pour le chauffage et l'électricité notamment.

¹ IAE : International Energy Agency

3.2 Le secteur de la construction et son émission de CO2

Part des bâtiments dans les émissions totales au niveau mondial, 2021.



International Energy Agency.

Le secteur du bâtiment est également extrêmement polluant en dioxyde de carbone. À l'échelle mondiale, cela représente plus de **37%** des émissions de CO₂. Cette pollution comptabilise les émissions directes ou indirectes du bâtiment.

Les émissions directes liées au bâtiment correspondent à celles produites à partir de l'usage du bâtiment comme le chauffage.

Nous pouvons parler aussi des émissions indirectes représentant celles qui ne sont pas directement émises à l'intérieur du bâtiment. Par exemple l'électricité utilisée au sein du bâtiment a une émission en dioxyde de carbone qui se fait principalement sur son lieu de production et lors de son transport. Les émissions indirectes comptabilisent également l'impact environnemental de la construction du bâtiment incluant les transports, le chantier ou encore le traitement des déchets.

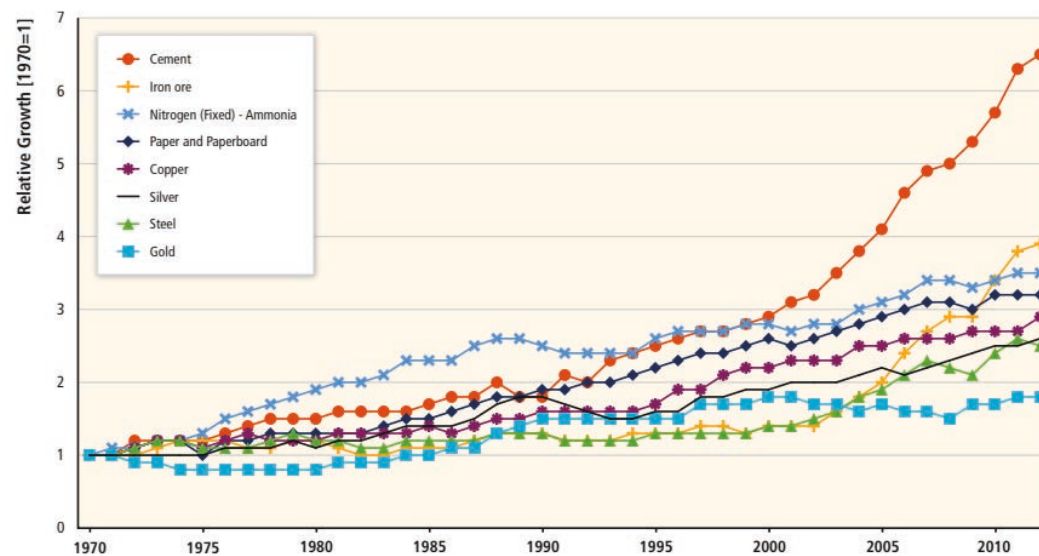
3.3 Le secteur de la construction et la gestion des déchets

En France, selon le ministère de la transition énergétique, le secteur du bâtiment en génère à lui seul « **46 millions de tonnes par an** (à titre de comparaison, chaque année, environ 30 millions de tonnes de déchets ménagers sont produites) »¹. Parmi ces 46 millions, la démolition représente 49% des déchets générés, la réhabilitation 38% et la construction neuve 13%.

1 Ministère de la transition écologique et énergétique, *Déchet du bâtiment*, 2021. <https://www.ecologie.gouv.fr/dechets-du-batiment> Consulté le 26/12/2022

La valorisation des déchets fait partie intégrante du processus variant entre 48 à 64%. Cependant, elle reste relativement faible dans le secteur du bâtiment. Pour la démolition, les déchets ne sont valorisés qu'à hauteur de 60 à 80 %, de 10 à 30% pour la réhabilitation et de 40 à 60% pour une construction neuve. Selon le haut conseil du climat, en France, le stockage et le traitement des déchets représentent 4% des émissions de CO₂.²

2 Rapport annuel du Haut conseil pour le climat, *Renforcer l'atténuation, engager l'adaptation*, 2021, p.13



Croissance mondiale des principaux minéraux et produits manufacturés (1970 = 1).

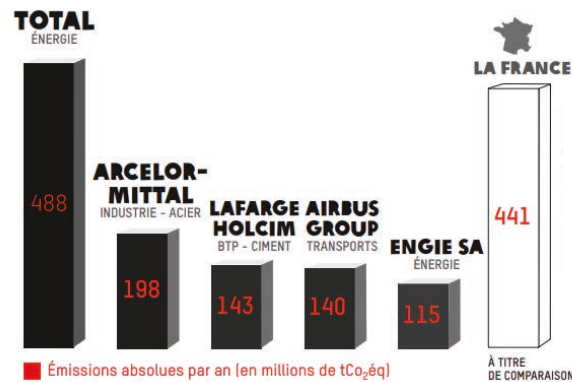
M. Fishedick, A. Acquaye, J. Roy, J.P. Ceron

3.4 Le secteur de la construction et sa consommation en matières premières

Depuis les années 1970, l'utilisation des matériaux de construction n'a fait que s'amplifier, surtout pour le béton. Aujourd'hui, rien qu'en France c'est plus de **80% des logements collectifs** et plus de **70% des bâtiments tertiaires** qui sont construits avec ce matériau.³

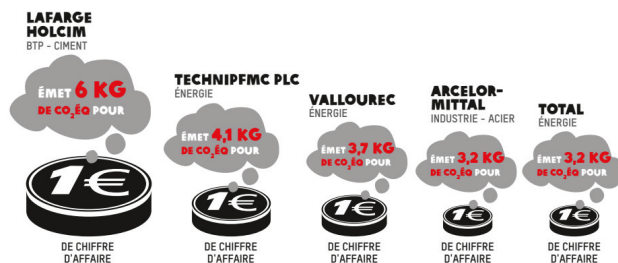
Cette utilisation massive n'est pas sans conséquence. Le béton n'est pas le plus grand pollueur en soi, car il est utilisé depuis longtemps dans l'histoire humaine avec différents composants. Toutefois, le problème est apparu lorsque le béton a été associé au ciment Portland. Ce dernier compose le béton à hauteur de 15%, et c'est lui qui pèse le plus lourd dans son émission de CO₂.

3 Union Sociale pour l'habitat, *RE 2020 : le béton, un matériau à l'aube de la révolution*, 2021. <https://www.union-habitat.org/actualites/re-2020-le-beton-un-matériau-l-aube-de-la-revolution> Consulté le 16/03/2023



Les 5 entreprises émettant le plus de gaz à effet de serre annuellement en Tonnes équivalent CO₂.

OXFAM France, d'après les données de Carbon4 Finance.



Les 5 entreprises classées en fonction de leur intensité carbone, en kilos de CO₂ par euro de chiffre d'affaire.

OXFAM France, d'après les données de Carbon4 Finance.

Pour faire du ciment, il faut cuire les composants dans des fours à plus de 1 450°C. Des coûts sont également ajoutés par le transport des matériaux, les usines et les extractions. Au total, le béton est responsable de l'utilisation de plus de 2,5%¹ de l'énergie primaire mondiale et émet **8%² des émissions de CO₂** tous secteurs confondus. De plus, à l'heure où l'eau devient une ressource de plus en plus rare, le béton en est un grand assoiffé. Composé à 10% d'eau, cela représente 9% de la demande en eau industrielle mondiale soit 1,7% du prélèvement total mondial en eau potable.³ Avec plus de 4 milliards de tonnes de ciment qui sont produites chaque année, le béton est par définition le matériau le plus utilisé en construction.

Outre le fait d'être un matériau, le béton est également **un produit financier** sachant que les plus grosses entreprises qui le fabriquent sont cotées en bourse. Au CAC 40, parmi celles-ci, on retrouve Arcelor-Mittal pour le ferrailage du béton et Lafarge-Holcim pour le ciment. Ces deux entreprises sont extrêmement émettrices en CO₂. À titre de comparaison, en combinant leur bilan carbone, on arrive à un total de **331 millions de tonnes équivalent CO₂**, là où celui de la France est de 441. À elles deux, ces industries du béton représentent pas moins de 61% des émissions totales des Français.

Néanmoins, des prises de conscience ont vu le jour. Nous pouvons citer l'accord de Paris, signé fin 2015 par 196 pays pour diminuer le réchauffement climatique et ne pas excéder une hausse de température de plus de 1,5°C. Cependant, selon l'ONG OXFAM, la trajectoire suivie des grandes entreprises du CAC 40 arriverait à un réchauffement de +3,5°C en 2100, bien au-dessus des accords de Paris.⁴

« Si le climat était une banque, on l'aurait déjà sauvé »⁵. Ces propos énoncés lors de la COP15 en 2009 par Hugo Chavez sont repris aujourd'hui lors de la COP21. Le climat et l'écologie ne rapportent aucune valeur financière contrairement à la capitalisation des matières premières où **1 euro** de chiffre d'affaire pour l'industrie du béton **émet 6 Kgs de CO₂**.

1 Miller, SA, Horvath, A. & Monteiro, PJM, *Impacts de la production de béton en plein essor sur les ressources en eau dans le monde*, 2018, Nature Sustainability, <https://doi.org/10.1038/s41893-017-0009-5> Consulté le 22/03/2023.

2 Timperley Jocelyn, *Why cement emissions matter for climate change*, 2018. www.carbonbrief.org Consulté le 22/03/2023.

3 IBID.

4 OXFAM, *Climat : CAC degrés de trop, le modèle insoutenable des grandes entreprises française*, 2021.

5 Citation tirée du discours d'Hugo Chavez lors de la COP15, 2009.

3.5 Les stars architectes et l'architecture déconstructiviste :

Entre esthétique et durabilité



Musée Guggenheim, Bilbao, 2022

Alyn Griffiths, Dezeen.

Le mouvement architectural du déconstructivisme est apparu à la fin du XX^{ème} siècle en opposition au postmodernisme remettant en question son ordre et sa rationalité. Ce mouvement met en avant l'architecture comme un objet où les formes sont libérées de toute régularité. Accompagnés d'un design exubérant de formes organiques donnant une impression de mouvement, ces édifices **repoussent les limites de la technique physique**. Elles sont souvent l'œuvre de stars architectes comme Frank Gehry, reconnu pour ses bâtiments tel que le musée Guggenheim à Bilbao.

Malgré leur aspect visuel époustoufflant, la construction et la maintenance de ces édifices ont un impact environnemental significatif en raison de la quantité considérable de matières premières, d'énergie et de ressources utilisées. Cette ferveur pour l'esthétique et le symbolisme architectural se fait au détriment des préoccupations environnementales actuelles. En effet, la création de ces bâtiments repose souvent sur l'utilisation excessive de matériaux tels que l'acier, le verre et le béton.

L'architecture, au-delà d'abriter des êtres humains, est devenue une course à l'exploit. Celle-ci s'est développée tels des symboles, comme le relate Claude Franck dans son article « *Un monde d'objet* »¹. Depuis ce jour, de nombreuses villes visent à développer leur attractivité par le biais de ces architectures-objets. Celles-ci deviennent alors la vitrine des villes permettant d'attirer toujours plus de touristes et d'investisseurs. C'est le cas du musée Guggenheim, construit en 1997. On parle même ici de « **l'effet Bilbao** » qui « *désigne la façon dont un équipement culturel majeur peut infléchir la trajectoire d'une ville et lui permettre de sortir d'une spirale du déclin par la culture et le tourisme.* »²

1 Claude Franck, *Un monde d'objet*, Cosa mentale n°7, 2012.

2 Géoconfluence, *Définition de l'effet Bilbao*, 2022. <https://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/effet-bilbao-ou-effet-guggenheim> Consulté le 23/04/2023.



The line.

NEOM.

Ces constats se retrouvent également à l'échelle des villes, dont une en particulier : **Dubaï**. Née en milieu aride et exemple type de la démesure, elle est devenue un symbole de l'extravagance architecturale et du luxe ostentatoire. Cependant, cette prospérité est venue au détriment de l'environnement naturel de sa région. Les bâtiments futuristes de Dubaï, telle que la tour Burj Khalifa, ont été construits en utilisant des quantités extravagantes d'énergie et de ressources. De plus, les conditions climatiques de cette ville nécessitent des installations et des besoins en climatisation extrêmement importants. Tout cela a un coût environnemental énorme, laissant une empreinte carbone considérable.

Récemment, les Émirats arabes unis ont annoncé le projet «**The Line**», une ville futuriste de 170 kilomètres de long qui serait totalement alimentée par des «**énergies propres**», une utopie présentée comme une arcologie¹. Le terme «**arcologie**» est une combinaison de «**architecture**» et «**écologie**» dont le principe est de créer des villes autosuffisantes et durables par l'intermédiaire de structures urbaines denses, verticales et multifonctionnelles.

¹ Concept développé par Paolo Soleri dans les années 1970

L'idée ne semble pas mauvaise, mais développée en plein milieu désertique, les retombées écologiques d'un tel projet ne sont absolument pas en adéquation avec la création d'une ville durable. En effet, construire en plein désert nécessite l'import de tous les matériaux liés à la construction, et ces mêmes matériaux seraient très certainement en béton, verre, acier avec une empreinte carbone extrêmement lourde. La gestion des ressources en plein désert, rien qu'en prenant l'exemple de l'apport en eau qui nécessite un traitement de désalinisation, engendre toute une dimension technique importante et consommatrice en ressources énergétiques pour fonctionner.

En 2023, et ce depuis plusieurs années, nous sommes arrivés à un moment charnière de l'Histoire. En s'établissant être une norme depuis plusieurs siècles, le modèle de croissance et de développement capitaliste est venu graduellement s'imposer au monde entier. Aujourd'hui, ce modèle est remis en cause car **il n'a pas la capacité de répondre au changement climatique.**

La gestion de l'empreinte carbone mondiale considérable du secteur du bâtiment n'est pas l'unique solution pouvant être apportée afin de lutter contre le dérèglement climatique. Celui-ci ne cesse de progresser, de s'amplifier menaçant la Terre, la biodiversité et les êtres humains. Face à cela les architectes ont une responsabilité et ont la capacité de réduire et de minimiser ce que l'ONU appelle la « *bombe à retardement* »¹.

Penser, concevoir et bâtir durablement, voilà tout l'enjeu que l'architecte est, à mon sens, en devoir de raisonner. Les solutions pour changer notre manière de construire existent, bien qu'elles ne soient que rarement privilégiées. Un nouveau mode de pensée émerge chez certains architectes qui cherchent à trouver des solutions et des alternatives pour réduire les coûts environnementaux liés au secteur du bâtiment.

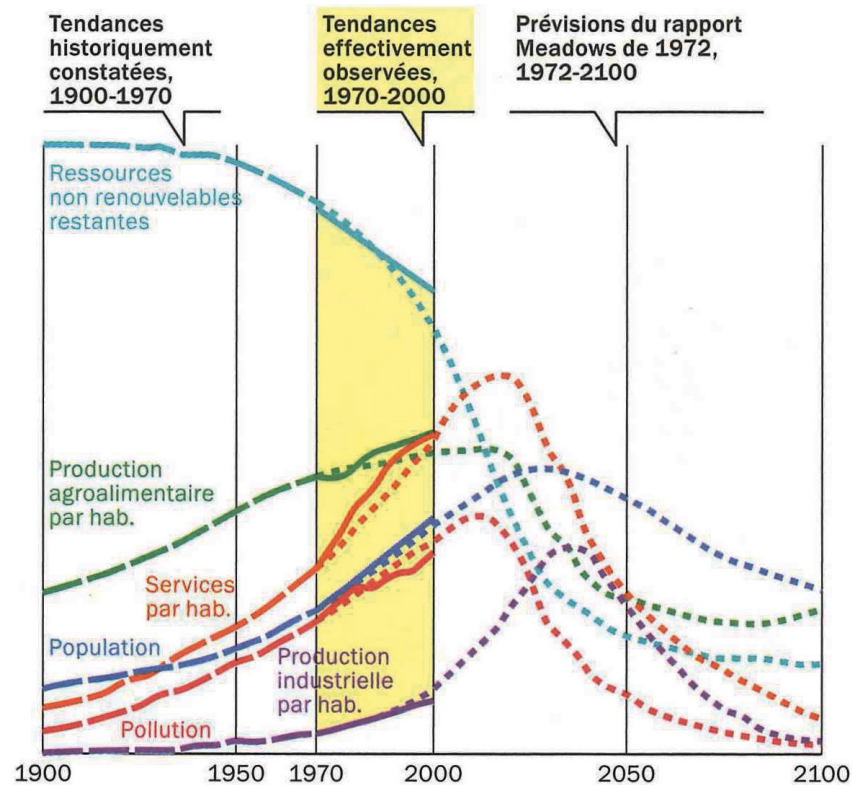
Ce mouvement prône la **frugalité** comme nouvelle approche permettant de rompre avec le modèle productiviste et la consommation excessive de ressources et d'énergie dans le domaine du bâtiment.

¹ Propos énoncé en réponse au rapport du GIEC 2023 par Antonio Guterres, secrétaire général de l'ONU.

CHAPITRE 2

LA FRUGALITÉ

1.1 La ville frugale



Graphique de la croissance mondiale à long terme.

Dennis Meadows, Donella Meadows, Jorgen Randers, *The limits to Growth*.

Les ressources de la Terre ne sont pas infinies et par incidence, la croissance de l'être humain non plus. C'est ce que démontre en 1972 *le rapport Meadows*, commandité par le club de Rome¹ se penchant sur les limites de la croissance mondiale à long terme. Le constat est clair : « **Il ne peut pas y avoir de croissance infinie sur une terre dont les limites sont connues** »², les deux étant liés, le système s'effondrera au-delà d'un seuil franchi. Ce rapport fait partie des premières remises en cause de notre mode de consommation appelant à préserver nos ressources naturelles pour les générations futures.

Les sociétés recherchent un modèle capable de combler le retard accumulé tout en préservant leur croissance. En conséquence, la notion de développement durable englobe plusieurs idées, dont celle de **la ville durable**. Celle-ci serait viable économiquement et socialement tout en respectant l'environnement³. Cette notion reste floue et ambiguë, par conséquent la notion de ville frugale a émergé comme une alternative.

Cette notion est reprise par Jean Haëntjens, dans son livre *La ville frugale* qui la définit comme le fait « d'offrir plus de satisfactions à ses habitants en consommant moins de ressources »⁴. Selon lui, cet objectif est réalisable sous forme d'une équation à quatre facteurs indépendants permettant d'atteindre la frugalité :

- La mobilité et la sobriété,
- La compacité et le désir d'espace,
- Les polarités et centralités,
- La qualité urbaine et le coût global.

1 Groupe réunissant scientifiques, économistes ou encore fonctionnaires internationaux.

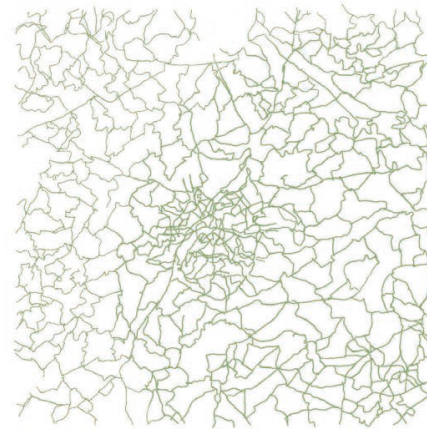
2 Dennis Meadows, Donella Meadows et Jørgen Randers, *The limits to growth*, 1972, Le club de Rome, Fayard.

3 Géoconfluence, *Définition de la ville durable*, 2020. <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/ville-durable> Consulté le 25/04/2023.

4 Jean Haëntjens, *La ville frugale*, l'éco poche, 2021, p.6



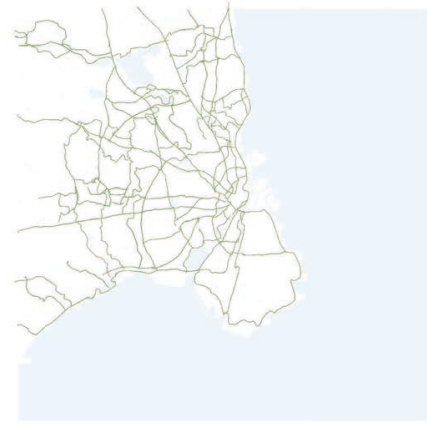
Amsterdam



Bruxelles



Paris



Copenhague

Les réseaux cyclables selon plusieurs villes, comparaison à une même échelle.

Iconographie réalisée par l'auteur.

Donnée source : OpenCycleMap.org, Mai 2023.

Mobilité et sobriété.

Ce premier objectif soulève la question de la conciliation entre les attentes de mobilité et l'impératif de sobriété énergétique. Nous pouvons aborder cette question en la rapprochant de la notion de « **la ville du quart d'heure** », proposée par l'urbaniste Carlos Moreno¹. L'idée est de créer des villes où les habitants ont accès à l'ensemble de leurs nécessités quotidiennes (magasins, écoles, services, parcs...) en moins de 15 minutes à pied, à vélo ou en transport en commun. Cela induit que la ville est conçue de manière à favoriser la concentration, plutôt que la dispersion des activités. Ce concept est basé sur trois principes clés :

¹ Carlos Moreno, *La ville du quart d'heure*, Chaire ETI – IAE Paris Université Paris 1 Panthéon Sorbonne, 2020

1-**La proximité** des services favorisant la mobilité douce,

2-**La diversité**, pour répondre aux besoins de chacun,

3-**La densité**, pour maximiser l'utilisation de l'espace et réduire les distances à parcourir.

La mobilité douce sous-tend la notion de **distance critique**, elle compare les différents modes de déplacements dont la vitesse n'est pas le critère essentiel. En ville, la marche est compétitive jusqu'à 1 km, le vélo jusqu'à 3 km, au-delà, la voiture s'impose comme plus rapide. Par déduction, une ville dont le diamètre est inférieur à 3 km permet aux mobilités douces d'être plus avantageuses que la voiture.

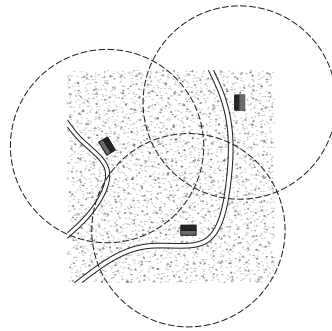
Cette notion de distance critique permet donc de « catégoriser » les villes selon quatre échelles de mobilité :

-La ville **piétonne**, diamètre inférieur à 1 km,

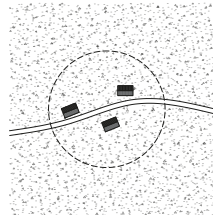
-La ville du **vélo**, diamètre inférieur à 3 km,

-La ville du **tramway**, diamètre inférieur à 5 km,

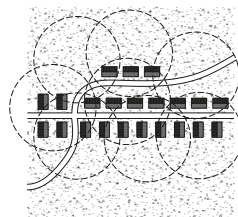
-Le territoire de la **voiture** et du **train**, diamètre supérieur à 5 km.



Densité faible,
La consommation d'énergie est élevée,
les habitations sont dispersées.
[0- 50 Hab/Ha]



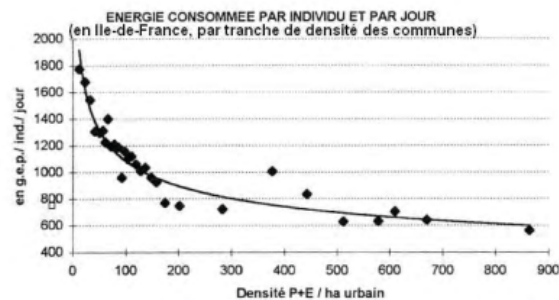
Densité moyenne,
La consommation d'énergie est
équilibrée, les habitations sont
rapprochées.
[50- 200 Hab/Ha]



Densité forte,
La consommation d'énergie est
élevée, la baisse est peu perceptible.
[+ 200 hab/ha]

Les différents rapports de densité.

Iconographie réalisée par l'auteur.



Relation entre densité et consommation d'énergie.

V. Fouchier, Newman, Kenworthy.

Désir d'espace et compacité.

Le deuxième objectif soulève la question de la conciliation entre l'utilisation économe du sol et le désir d'espace. Ce dernier est un critère essentiel, « *les trois quarts des Français et plus de la moitié de ceux qui sont considérés comme urbains souhaitent habiter dans une maison* »¹.

L'espace en ville est extrêmement restreint par le tissu urbain. La densité y est différente en son centre et sa périphérie, elle est quantifiable en nombre d'habitants à l'hectare (Hab/Ha). Une parcelle pavillonnaire a pour densité 40 Hab/Ha², la maison de ville de 100 Hab/Ha³ et l'appartement de 160 Hab/Ha^{4,5}. Selon la densité urbaine, les espaces sont considérés comme :

-**Faible** en dessous de 50Hab/Ha,

-**Moyennement faible** entre 50 et 100 Hab/Ha,

-**Moyenne** entre 100 et 200 Hab/Ha,

-**Forte** au-delà de 200 Hab/Ha.

Il existe une relation entre la densité de population et la consommation d'énergie lié aux déplacements : la consommation d'énergie diminue au plus la densité augmente.⁶ Cependant, comme le souligne S. Munafo, « *elle diminue très lentement lorsque la densité augmente au-delà d'un certain seuil qui est de 100 Hab/Ha* »⁷. Densifier apparaît comme un moyen de minimiser l'énergie utilisée, il ne faut pas pour autant tomber dans la surdensité.

La taille des villes est cruciale pour sa durabilité. Les villes isolées peinent à répondre aux besoins essentiels des habitants engendrant une utilisation massive de l'énergie. A contrario, les mégalo-poles « *ne sont pas des modèles de développement urbain durable* »⁸ en raison de la pollution, surdensité et des coûts élevés.

D'après ces constats, « *la ville frugale idéale se situe plutôt dans la zone des densités moyennes qui est celle des petits immeubles et des maisons de ville* »⁹, soit dans une densité comprise entre 100 et 200 Hab/Ha.

1 Jean Haëntjens, *La ville frugale, l'écopoche*, 2021, p.69

2 Pour une surface de 600 m².

3 Pour une surface de 200 m².

4 Pour une surface de 70 m².

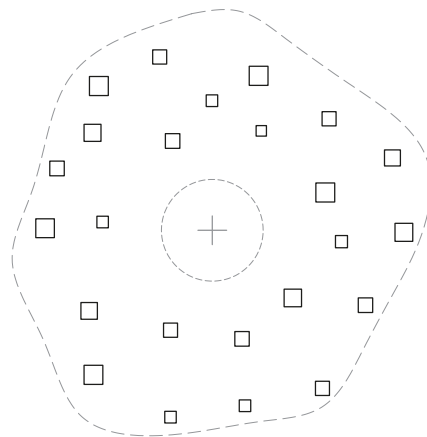
5 Jean Haëntjens, *La ville frugale, l'écopoche*, 2021, p.71

6 Selon l'étude de Vincent Fouchier

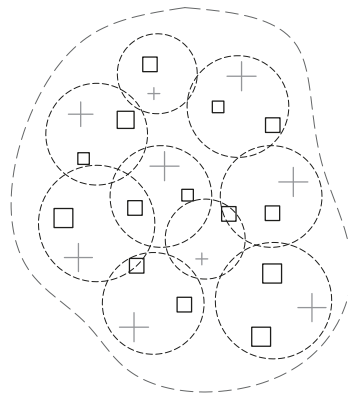
7 Sébastien Munafo, *La ville compacte remise en cause*, Alphil, 2016, p.231

8 Rémy Allain, *Formes urbaines et développement urbain durable*, Urbia n°11, 2010, p.46

9 Jean Haëntjens, *La ville frugale, l'écopoche*, 2021, p.50 d'après l'article d'Eric Charmes, *la densification en débat*.



La ville fondée sur la centralité :
un centre unique au coeur



La ville fondée sur la polarité :
démultiplication des centres

⊕ Services

□ Logements

Ville concentrique et polycentrique.

Iconographie réalisée par l'auteur.

Polarité et centralité.

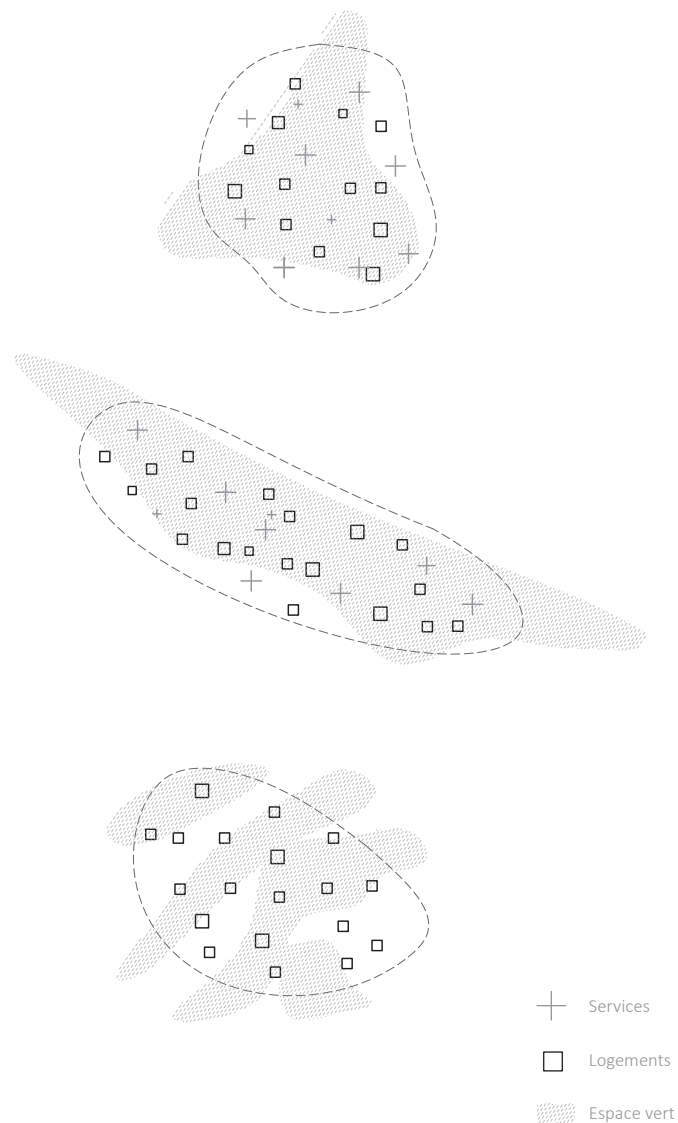
Le troisième objectif soulève la question de la conciliation entre un développement équilibré des territoires et une logique de concentration et de polarisation.

Selon Jean Haetjens, les polarités sont des espaces concentrant un grand nombre d'habitants ou d'activités, cette notion est quantifiable et mesurable par rapport à son flux. Un village est une polarité pour les espaces ruraux avoisinants, une capitale est une polarité pour son pays. Cette notion est à distinguer de la centralité, qui, quant à elle « *repose sur la diversité et l'abondance des êtres humains qui font société et celle des fonctions qui font l'économie* »¹. La centralité sous-tend que le centre profite de tout en se développant et en délaissant sa périphérie.

Il y a donc un intérêt à **trouver un équilibre** entre la concentration en un point des activités générant un déplacement de population trop importante et au contraire la dispersion dans le territoire rendant obligatoire l'utilisation des véhicules. La solution réside donc dans une démultiplication des polarités et des centralités afin de tendre vers une ville polycentrique en se basant sur une densification ciblée des quartiers. On parle donc de polarité répartie² où la ville serait organisée par plusieurs polarités de différents secteurs dans chaque quartier. On retrouve quelques architectes ayant concrétisé cette vision tel que Le Corbusier avec la Cité radieuse à Marseille, bâtiment mutualisant plusieurs équipements et services (écoles, commerces, logements...).

¹ Francis Beaucire, Xavier Desjardins, *Centralité. Polarité, nodalité*, 2014. https://www.citego.org/bdf_fiche-document-123_fr.html Consulté le 01/05/2023.

² Jean Haëntjens, *La ville frugale, l'écopoche*, 2021, p.62



Exploration de plusieurs hypothèses de la ville frugale en fonction des services, des logements et de l'accès à la nature.

Iconographie réalisée par l'auteur.

Coût urbain global et qualité de vie.

Le quatrième objectif soulève la question de la conciliation entre la qualité de vivre en ville et une modération des coûts urbains lié au prix de l'immobilier, des aménagements ou encore des réseaux de transports.

Tout d'abord, les qualités urbaines sont liées à la notion de **densité**. Pour la rendre désirable, la ville doit donc proposer une qualité similaire, voire supérieure à celle de sa périphérie en termes d'espace public, de nature ou de loisirs. Comme le souligne J. Haentjens, « *un urbanisme frugal s'intéresse d'abord à la qualité, à la valeur d'usage (détente, calme, pratique sportive, vie sociale.) et à l'accessibilité de ces espaces* »¹.

¹ Jean Haëntjens, *La ville frugale, l'écopoche*, 2021, p.62

Les jardins privatifs présents dans les zones pavillonnaires offrent un avantage de taille : intimité, privatisation et proximité d'un espace vert chez soi. En ville, cela se fait plus rare de par sa densité et son maillage urbain. C'est pourquoi la ville frugale doit tendre à proposer des alternatives pour compenser ce manque d'espaces extérieurs.

La ville frugale est pertinente si elle est associée à une diminution des coûts urbains. Or actuellement, le paradoxe est tel que la ville qui consomme moins d'espaces, d'énergies et de ressources présente un coût relativement élevé. On retrouve cela dans la ville de Copenhague, ville pleinement intégrée dans le développement durable, qui est la capitale la plus chère d'Europe.

Selon J. Haentjens, la ville non durable se caractérise par « *l'étalement urbain, la séparation fonctionnelle, les coûts élevés et la ségrégation sociale* »². Il faut donc trouver dans l'équation de la ville frugale le juste milieu entre des objectifs contradictoires qui sont **mobilité-sobriété**, **compacité-désir d'espace**, **polarisation-répartition** et **qualité urbaine-coût global**.

² IBID, p.65

1.2 La notion de frugalité

Selon Épicure, la frugalité n'exclut pas le luxe, mais recherche avant tout une non-dépendance aux faux luxes et aux faux plaisirs, il est donc lucide sur les désirs, besoins, et conséquences de chaque action.

On retrouve également la notion de frugalité en architecture chez Philippe Madec, architecte et co-animateur du mouvement pour une frugalité heureuse et créative lancé en 2018 avec l'architecte D. Gauzin-Muller et l'ingénieur A. Bornarel. Leur manifeste « appelle à développer des établissements humains frugaux en énergie, en matière et en technicité, créatifs et heureux pour la terre et l'ensemble de ses habitants, humains et non humains. »¹.

L'ingénieur **Alain Bornarel**, définit la frugalité comme « la recherche d'une économie de ressources et d'une maîtrise des émissions polluantes, des gaz à effet de serre. Cela induit un certain choix de matériaux et d'architectures. Il faut être frugal en énergie, en matériaux, en technique »².

Du point de vue de l'architecte **Philippe Madec**, « Frugal vient du latin *fructus* : le fruit. Ce qui est frugal, c'est la récolte du fruit de la terre. La récolte est heureuse lorsqu'elle respecte la terre tout en rassasiant celui qui fait la récolte. L'architecture frugale, c'est comment l'architecture, l'aménagement territorial et l'établissement humain récoltent les fruits de la terre en ne la détruisant pas. »³.

Dans les deux cas, la frugalité en architecture conduit à une juste maîtrise des éléments dans une logique d'économie de ressources. Ce mot, frugalité, possède un synonyme qui est **la sobriété**, on peut se demander alors ce qui les différencie. Pour cela, on peut s'appuyer sur deux définitions convergentes vers la même conclusion.

La première de **P. Madec** : « Il y a une dimension positive à la frugalité, elle est désirable, tandis que la sobriété est connotée avec une certaine retenue des choses, elle n'amène pas la notion de la juste récolte »⁴.

La deuxième par **H. Chayneaud-Dupuy**, écrivain : « La sobriété c'est l'économie des ressources dans une logique de remise en cause volontaire de la société de consommation. C'est avant tout une démarche d'ascèse personnelle. La frugalité c'est la capacité à faire fructifier les ressources dont on dispose sans en abuser. »⁵

La sobriété est donc connotée d'une privation personnelle, d'un empêchement comme le dit P. Madec : « la sobriété oscille entre opportunité et nécessité, choix et obligation. Alors que la frugalité quant à elle consiste en la juste utilisation des choses »⁶

Cependant, une variante existe entre sobriété et frugalité. Selon **Pierre Rabhi**, essayiste français prônant « la modération comme fondement social »⁷, il porte la sobriété heureuse comme un mode de vie contre la société de surconsommation, ou plus précisément contre le « règne de l'immodération »⁸. Là où la sobriété est connotée à la restriction, à l'ascèse, la sobriété heureuse consiste à réduire de manière volontaire sa consommation, dans le but de vivre une vie centrée sur des valeurs jugées essentielles.

Ce mode de pensée rejoint alors celui de la frugalité et vise à **consommer moins pour vivre mieux**. Elles partagent également la vision de la décroissance des ressources naturelles non renouvelable d'un point de vue mécaniste. La planète possède une certaine quantité de ressources et une certaine capacité de reproduction de celles-ci tendant à une certaine limite.

Le mouvement pour une frugalité heureuse et créative propose des alternatives à la construction actuelle à travers **trois objectifs** et **neuf engagements** pour construire plus durablement. Parmi ces objectifs on retrouve le fait de :

- Préserver le sol comme notre terre,
- Anticiper le dérèglement climatique,
- Ecrire et de concrétiser de nouveaux récits territoriaux.

5 Hervé Chayneaud-Dupuy, *Définition frugalité et sobriété*, 2019. <https://www.persopolitique.fr/1576/frugalite/> Consulté le 17/02/2022.

6 Philippe Madec, *La frugalité n'est pas la sobriété*, 2022, Topophile. <https://topophile.net/savoir/la-frugalite-nest-pas-la-sobriete/> Consulté le 11/05/2023

7 Interview de Pierre Rabhi, *la sobriété qui rend heureux*, par On passe à l'acte, 2014. <https://www.youtube.com/watch?v=h8elttbSUC4> Consulté le 16/04/2023.

8 Pierre Rabhi, *Vers la sobriété Heureuse*, Babel, 2013

1 Frugalité heureuse et créative, <https://frugalite.org/a-propos-de-la-frugalite/> Consulté le 16/03/2022.

2 Interview de Alain Bornarel, *Dans la construction, il faut être frugal en matériaux, en énergie, en technique*, par Le Monde, 2018. https://www.lemonde.fr/climat/article/2018/12/12/dans-la-construction-il-faut-etre-frugal-en-matériaux-en-energie-en-technique_5396521_1652612.html Consulté le 12.02.2022

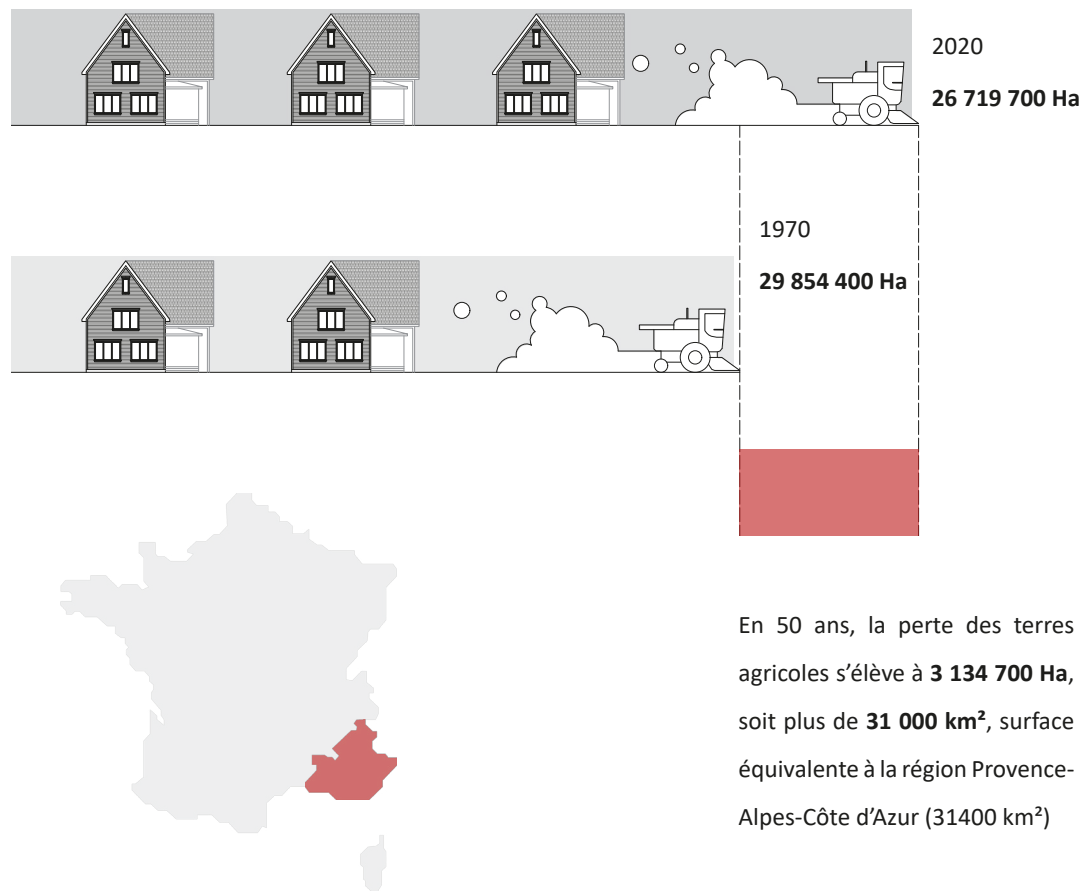
3 Interview de Philippe Madec, *La frugalité vue par Philippe MADEC*, par HESAM UNIV, 2021. <https://www.youtube.com/watch?v=ybGLO5I4e7M> Consulté le 17/02/2022.

4 IBID.

2.1 Préserver le sol comme notre Terre

Sanctuariser les secteurs de biodiversité et les terres agricoles.

VARIATION DE LA SURFACE AGRICOLE DISPONIBLE ENTRE 1970 ET 2020



Variation de la perte des surfaces agricole disponible entre 1970 et 2020.

Iconographie réalisée par l'auteur.

Donnée source : SAFER

Selon le rapport présenté par l'AEE¹, l'étalement urbain se « manifeste lorsque le taux de changement d'occupation des terres excède le taux de croissance de la population. »². En effet, l'artificialisation des sols augmente **quatre fois plus vite** que la croissance démographique³ et a entraîné depuis 1980 une artificialisation annuelle de 20 000 à 30 000 hectares rien qu'en France⁴.

Depuis 1970, la bétonnisation des campagnes a engendré une perte de 10,2% des surfaces agricoles qui ont disparu au profit du développement urbain, soit **plus de trois millions d'hectares**⁵. Selon l'enquête Teruti-Lucas reprise par l'ADEME⁶, l'artificialisation des sols est causé par trois facteurs rejoignant l'étalement urbain

- L'habitat à hauteur de **42%**,
- Les infrastructures de transports à hauteur de **28%**,
- Les activités industrielles et tertiaires à hauteur de **18%**.

La croissance démographique ne cesse d'augmenter, avec une projection de 2 milliards de personnes supplémentaires dans les 30 prochaines années⁷. Pour anticiper cette hausse de la population sans davantage amplifier l'étalement urbain, il existe des solutions : la réhabilitation et l'appropriation des **friches urbaines**.

1 Agence européenne pour l'environnement, *Urban sprawl in Europe – the ignored challenge*, 2006.

2 Agence européenne pour l'environnement, *L'étalement urbain en Europe - un défi environnemental ignoré*, 2016. <https://www.eea.europa.eu/fr/pressroom/newsreleases/l2019etalement-urbain-en-europe-un-defi-environmental-ignora> Consulté le 29/03/2023

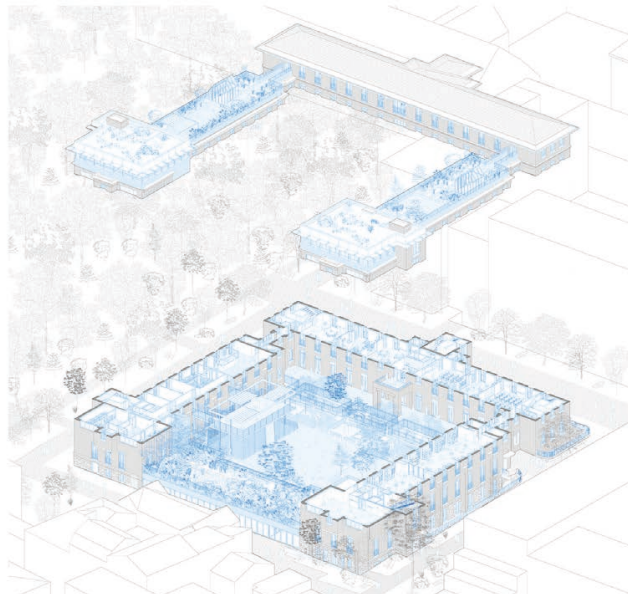
3 Données et études statistique, France, *Artificialisation des sols - Enjeu : perte accélérée de la biodiversité*, 2018. <http://www.donnees.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lesessentiels/indicateurs/e21.html> Consulté le 29/03/2023.

4 Ministère de la transition écologique et énergétique, France, *Artificialisation des sols*, 2022. <https://www.ecologie.gouv.fr/artificialisation-des-sols> Consulté le 02/03/2023.

5 *Terres agricoles : l'équivalent de la région PACA a disparu en cinquante ans*, <https://www.safer.fr/>

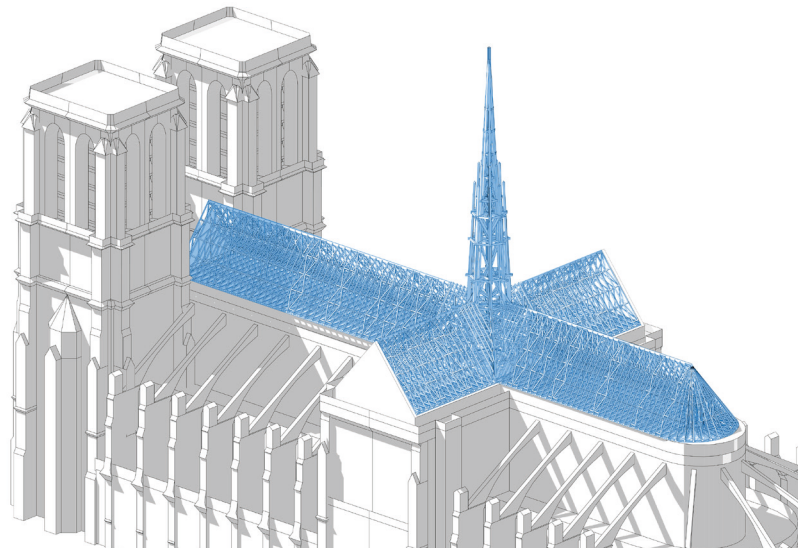
6 Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

7 ONU, *Population*, <https://www.un.org/fr/global-issues/population> Consulté le 07/10/2022.



La réhabilitation de l'îlot saint Vincent de Paul, Paris.

ChartierDalix Architecte.



La restauration de la cathédrale de Notre-Dame de Paris, retour à l'identique de la charpente.

Petitjean V. Ben Abdallah L. Chabert R. Lefebvre H. Belaid I.

Privilégier la réhabilitation avant toute nouvelle construction.

Dans notre monde actuel, la construction de bâtiments neufs n'est plus la seule option. De nouvelles possibilités émergent et deviennent de plus en plus courantes telles que la **réhabilitation**, la **restauration** ou la **rénovation**.

Pour bien comprendre ces principes, on peut s'appuyer sur le dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement, rédigé par F. Choay et P. Merlin.

La réhabilitation, correspond à « *l'ensemble des travaux visant à transformer un local, un immeuble ou un quartier en lui rendant des caractéristiques qui les rendent **propres au logement** d'un ménage dans des conditions satisfaisantes de confort et d'habitabilité, tout en assurant **de façon durable** la remise en état du gros œuvre et en conservant les caractéristiques architecturales majeures des bâtiments* »¹.

La transformation et la restructuration interne du bâtiment sont donc possible, l'aspect extérieur de l'enveloppe reste semblable à celle d'origine permettant une sauvegarde du bâtiment.

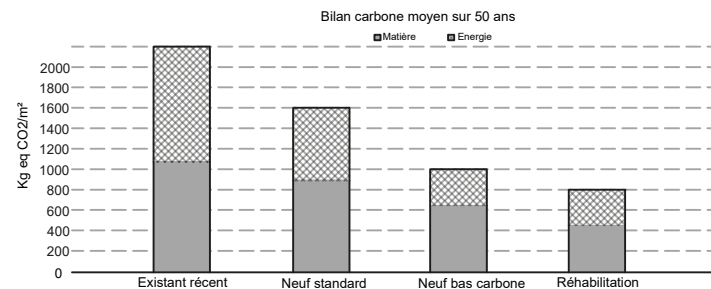
La restauration est plus réglementée que la réhabilitation, elle « *implique un retour à l'état initial, au moins des façades et des toitures* »². Cet état de restauration à l'identique concerne principalement les monuments classés et inscrits au patrimoine pour son intérêt historique, artistique ou architectural³.

La rénovation est quant à elle plus ciblée, on peut l'associer à un acte issu de particuliers voulant remettre à neuf leur habitation.

1 Françoise Choay, *Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement*, Quadrige, 1988, p665-666

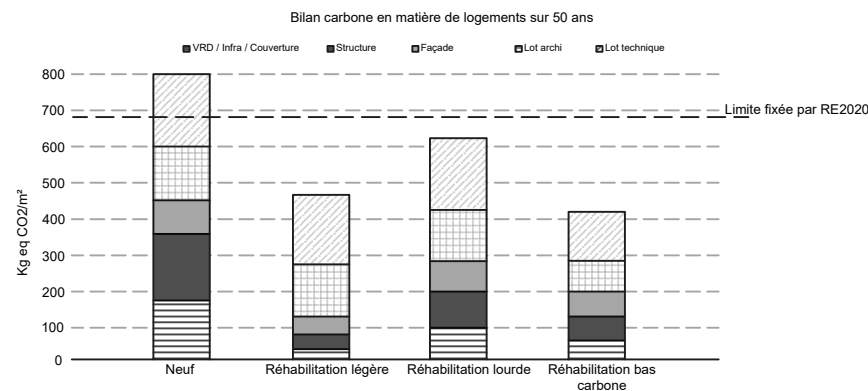
2 IBID. p.666

3 Ministère de la culture, *Les monuments historiques*. <https://www.culture.gouv.fr/Thematiques/Monuments-Sites/Monuments-historiques-sites-patrimoniaux/Les-monuments-historiques> Consulté le 26/08/2022.



Comparaison du bilan carbone en matière et en énergie des différents bâtiments.

Conserver, Adapter, Transmettre, Pavillon de l'arsenal.



Comparaison du bilan carbone selon les différents lots des bâtiments.

Conserver, Adapter, Transmettre, Pavillon de l'arsenal.

Réutiliser l'existant, c'est tout d'abord faire des **choix écologiques**. Le coût carbone d'une réhabilitation est bien inférieur à celui d'un bâtiment neuf qui émet en moyenne 1,5 tonnes de CO₂¹ sur 50 ans par m² dont 50% concerne les matériaux et l'autre moitié l'énergie utilisée.

Selon l'ADEME, construire une maison individuelle nécessite 40 fois plus de matériaux qu'une réhabilitation. Pour les logements collectifs c'est 80 fois plus, sans compter les équipements techniques². En réhabilitation, la conservation de la structure primaire permet d'économiser en moyenne 250 kg eq³ de CO₂/m²⁴.

La réhabilitation du parc existant bâti apparaît comme un levier permettant d'être frugal en énergies et en ressources. Comme le soutient Alain Bornarel,

« **La frugalité, c'est d'abord la réhabilitation** »⁵.

Au cours du siècle dernier, nous avons été témoins de la croissance exponentielle du secteur avec la construction d'édifices toujours plus complexes. Toutefois, ceux-ci ne sont pas une réponse aux enjeux climatiques actuels nous poussant vers la notion de frugalité.

Comme le souligne Philippe Pelletier, président du plan bâtiment durable, « nous devons tous nous faire à l'idée que le demi-siècle qui vient sera celui de la réhabilitation, de la même manière que le précédent était celui de la reconstruction »⁶. En effet, la modernité a puisé énormément dans nos ressources limitées afin de construire plus que toutes nos générations précédentes⁷.

Ainsi, l'ère de la transformation se concentre sur la réutilisation des bâtiments existants. Il n'est dorénavant plus question de construire davantage, mais de transformer, comme le souligne Patrick Bouchain dans son livre *construire autrement, comment faire ?* : « **agir, mais transformer** »⁸.

1 ADEME, *La construction neuve beaucoup plus consommatrice de matériaux que la rénovation*, 2019, <https://www.ademe.fr/> Consulté le 04/05/2023

2 ADEME, *Consommation de ressources : privilégier la rénovation plutôt que la construction neuve ?*, 2020, <https://www.ademe.fr/Consulté le 22/03/2023>.

3 « L'équivalent » CO₂ : mesure permettant de quantifier les émissions de gaz à effet de serre en fonction de leur potentiel de réchauffement climatique

4 Pavillon de l'arsenal, *Conserver, Adapter, transmettre*, 2022, p.15

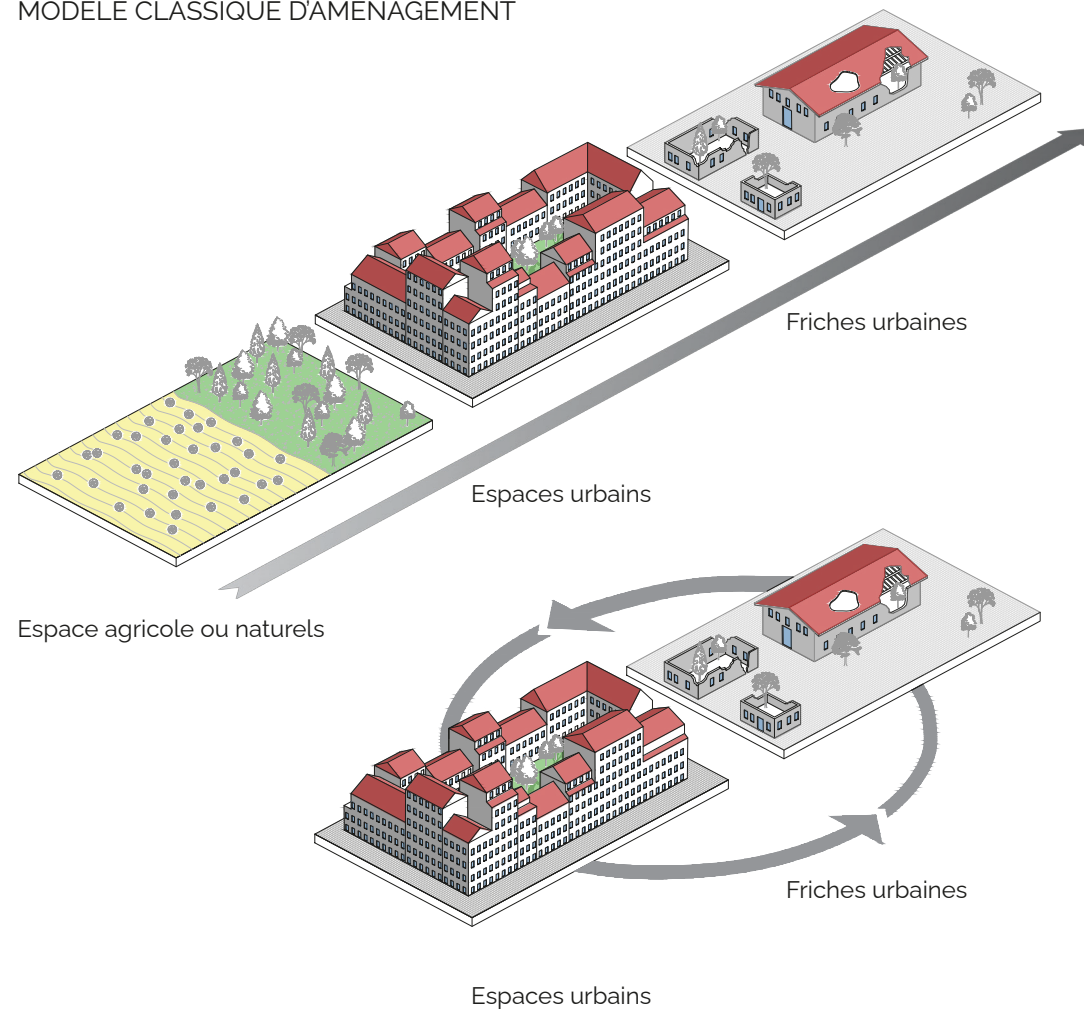
5 Interview de Alain Bornarel, *Les entretiens de l'observatoire de la qualité architecturale du logement en île-de-france*, par CAUE, 2020. <https://www.caue-idf.fr/exploration-2020/alain-bornarel> Consulté le 22/08/2022.

6 Florent Lacas, *Action cœur de ville : 200 projets de revitalisation devraient être signés en 2020*. <https://www.batiactu.com/> Consulté le 13/02/2023.

7 Rem koolhaas, *Jonkspace*, Payot, 2011.

8 Patrick Bouchain, *Construire autrement, comment faire ?* Acte Sud, 2006, p.7

MODÈLE CLASSIQUE D'AMÉNAGEMENT



PRINCIPE DE L'URBANISME CIRCULAIRE

L'urbanisme circulaire repose sur le recyclage du foncier artificialisé

Différence des deux modèles d'aménagement, le premier classique et linéaire, le deuxième frugal et circulaire.

Iconographie réalisée par l'auteur.

Occuper les friches urbaines avant tout étalement urbain.

Selon P. Merlin, les friches urbaines « sont des parcelles de terrains, autrefois bâties, mais qui sont maintenant vides et inutilisées »¹. Parmi celles-ci, on retrouve les friches industrielles, souvent situées en plein cœur des agglomérations qui connaissent souvent une rapide reconversion due à la spéculation immobilière. A contrario, les friches industrielles périphériques peinent davantage à être réhabilitées.

En France, selon le rapport du DATAR² de 1991, les friches industrielles étaient estimées à pas moins de **20 000 hectares**, dont 10 000 dans le Nord-Pas-de-Calais. Cette désindustrialisation liée aux raisons économiques a contribué au déclin de la production manufacturière. Cette décroissance a fait perdre à l'industrie plus de 2,5 millions d'emplois et la fermeture de 385 sites industriels entre 2009 et 2011 selon Trendeo³. Une politique de traitement de ces friches a alors été mise en place, reposant sur la requalification paysagère et architecturale. Mais cela n'a pas suffi, selon l'ADEME, en France en 2022, c'est plus de 7 200 sites recensés en friches, soit plus de **100 000 Ha** situé en aire urbaine⁴.

Au vu de l'augmentation massive des territoires artificialisés, le recyclage des friches urbaines apparaît comme une solution pour lutter contre l'étalement urbain en construisant sur des espaces délaissés.

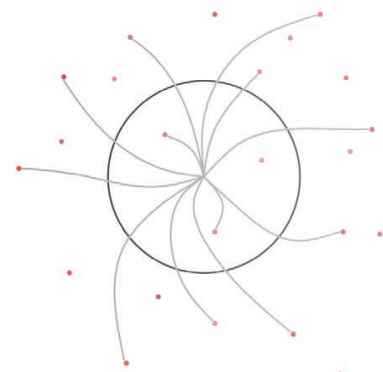
¹ Françoise Choay, *Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement*, Quadrige, 1988, p.363-364

² J-P Lacaze, *Le paysage, la construction et la promotion : l'Etat et les friches industrielles*, 1986, DATAR (Délégation à l'aménagement du territoire et à l'action régionale), p.212

³ David Cousquer, *Désindustrialisation : les fermetures d'usines en France 2009-2011*, 2011, Trendeo. <https://trendeo.net/> Consulté le 28/04/2023

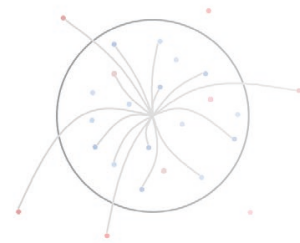
⁴ ADEME, *Reconversions des friches urbaines*, 2016, <https://expertises.ademe.fr/urbanisme-durable/urbanisme-amenagement/passer-a-l'action/reconversions-friches-urbaines> Consulté le 22/04/2022.

MODÈLE ACTUEL



Production délocalisée - mobilité intense

MODÈLE PROJETÉ



Production concentrée - mobilité modérée



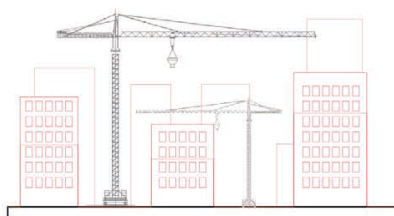
Système linéaire

Produire - Consommer - Jeter

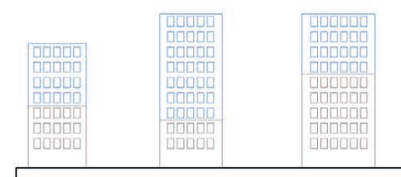


Système circulaire

Réutiliser - Consommer - Trier



Construction neuve intense



Réhabilitation

Atteindre la neutralité carbone d'ici 2050.

Iconographie réalisée par l'auteur.

2.2 Anticiper le dérèglement climatique

Faire de la transition écologique un vecteur de projet à toutes échelles.

Selon l'OXFAM¹, la transition écologique correspond à une « évolution vers un nouveau modèle économique et social qui apporte une solution globale et pérenne aux grands enjeux environnementaux de notre siècle. Opérant à tous les niveaux, elle vise à mettre en place un modèle de **développement résilient et durable** qui repense nos façons de consommer, de produire, de travailler et de vivre ensemble »².

Le rapport de l'ADEME³ propose quatre scénarios permettant d'atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050. Nous nous concentrerons sur le premier, **génération frugale**, qui présente trois objectifs de « transformation concernant nos modes de vies actuels dans les façons de se déplacer, se chauffer, s'alimenter... »⁴:

-Réduire la mobilité et recentrer les productions,

-Changer notre mode de vie en basculant d'un système linéaire à circulaire,

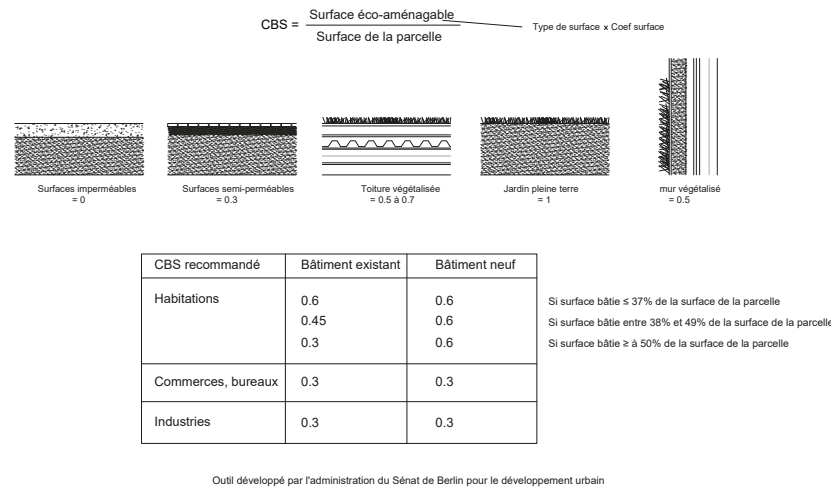
-Limiter les constructions en privilégiant la réhabilitation et la rénovation.

¹ OXFAM (Organisme luttant contre les inégalités pour mettre fin à la pauvreté et aux injustices).

² OXFAM, *La transition écologique, clé d'un avenir durable et solidaire*, 2022, <https://www.oxfamfrance.org/climat-et-energie/transition-ecologique/> Consulté le 02/05/2023.

³ Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, *Transition 2050, choisir maintenant, agir pour le climat*, 2021.

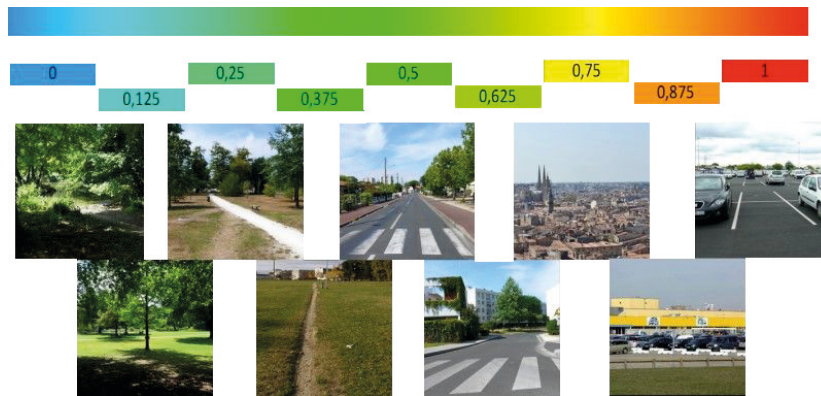
⁴ ADEME, *Génération frugale*, 2021, <https://www.ademe.fr/les-futurs-en-transition/les-scenarios/#generation-frugale> Consulté le 12/05/2023



Calcul du coefficient de biotope par surface (CBS).

Iconographie réalisée par l'auteur.

Donnée source : Bruxelles environnement.



Coefficient des différentes surfaces selon leur potentielle accumulation de chaleur (Ilot de chaleur Urbain)

Construction21.

Renaturaliser les sols en se penchant sur le coefficient de biodiversité.

Avec la bétonnisation des sols, la biodiversité ne cesse de reculer voire de disparaître des villes. Le **coefficient de biodiversité** est apparu en Allemagne il y a une trentaine d'années et fait partie intégrante des projets d'urbanisme. Cet outil permet en fonction du projet et du programme, de définir un coefficient minimum de biodiversité.

Celui-ci se base sur deux facteurs. Le premier est **la superficie éco-aménageable**, calculée en fonction du nombre de mètres carrés d'une surface multipliée par son coefficient de biotope. Ce dernier est de 0 quand une surface est totalement imperméable (dalle béton) et de 1 correspondant à un jardin en pleine terre. Il existe des intermédiaires comme les toitures ou les murs végétalisés avec un coefficient allant de 0,5 à 0,7. Le deuxième facteur est **la taille totale de la parcelle** qui est divisée par l'addition des différentes surfaces éco-aménageables.

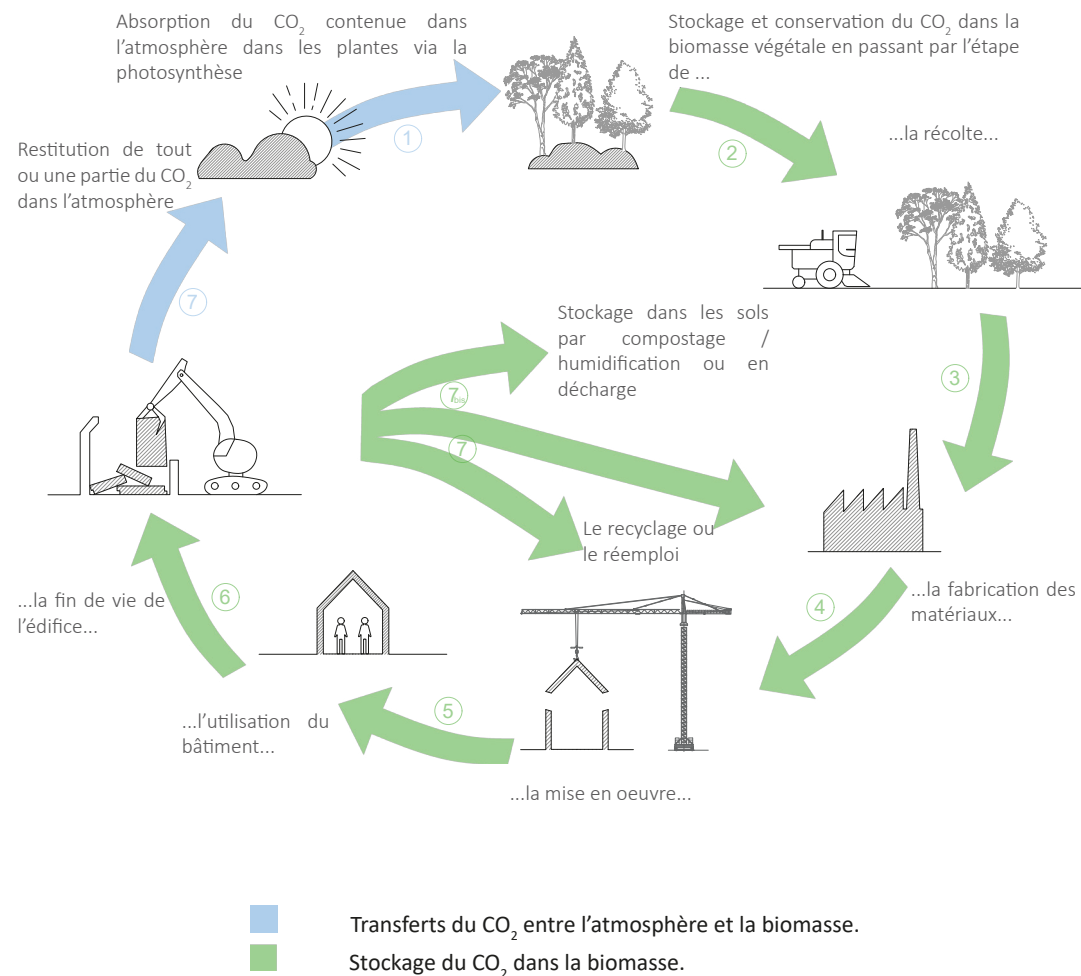
Le coefficient de biodiversité n'est pas la seule considération soulevée par la re-naturalisation des sols. Dans les villes, un phénomène de plus en plus intense est visible en été : **l'effet d'îlot de chaleur urbain.**

Celui-ci agit comme une sorte de microclimat dans un environnement donné. Au plus les villes sont denses et peu végétalisées, au plus celui-ci est élevé. À Paris, d'un espace rural à un espace dense et urbanisé, la différence de température peut parfois atteindre **10 degrés supplémentaires**.¹

Il est possible de quantifier cet effet de la même manière que le coefficient de biodiversité. Cet outil ne permet pas de déterminer une température, mais de guider au mieux les projets d'urbanisme. Plus le score se rapproche de 0, plus le climat sera tempéré, tandis qu'une valeur proche de 1 indique un climat extrêmement chaud. Par exemple, un parking avec une surface bituminé accumule énormément de chaleur.

¹ Olivier Cantat, *L'îlot de chaleur urbain parisien selon les types de temps*, 2004, <https://doi.org/10.4000/norois.1373> Consulté le 04/04/2023.

ANALYSE DU CYCLE DE VIE DES MATÉRIAUX BIOSOURCÉS



Le cycle de vie des matériaux biosourcés : un stockage du CO₂ pendant plusieurs années.

Iconographie réalisée par l'auteur.

Réaliser les travaux à l'aide de matériaux locaux biosourcés et géosourcés.

Nous savons que le béton compose plus de 80% des logements collectifs et émet 800 kg de CO₂ par m² construits. Les matériaux biosourcés et géosourcés apparaissent comme une alternative. Issu de leur préfixe « bio » et « géo », ils **proviennent du vivant** et ont effectué au cours de leur vie la photosynthèse en stockant du CO₂ de l'atmosphère et rejetant de l'oxygène¹.

Les éléments biosourcés « sont issus de la matière organique renouvelable (biomasse), d'origine végétale ou animale »². On y retrouve le bois, la paille ou encore des fibres végétales.

Le bois absorbe et rejette du CO₂ tout au long de sa durée de vie. Il le stocke pendant sa croissance et le libère une fois arrivé à maturité, absorbé de nouveau par les arbres environnants. Ainsi, le bois est un matériau à faible empreinte écologique car il participe à l'absorption du CO₂.

Contrairement à des matériaux issus de l'industrie, l'empreinte carbone du bois correspond uniquement aux émissions liées à son transport et à sa transformation comprise entre 0,1 à 0,6 MWh/m³, contrairement au béton armé (1,85 MWh/m³) ou à l'acier (52 MWh/m³). Construire un bâtiment intégralement en bois permet de faire baisser son empreinte carbone jusqu'à **25%**³ par rapport au béton. De plus, le bois est un matériau dont les déchets sont valorisés dans trois domaines :

-**L'énergie**, avec l'utilisation de bois de chauffe,

-**L'agronomie**, en tant que compostage,

-**La recomposition de matière** comme l'isolation de fibre de bois.

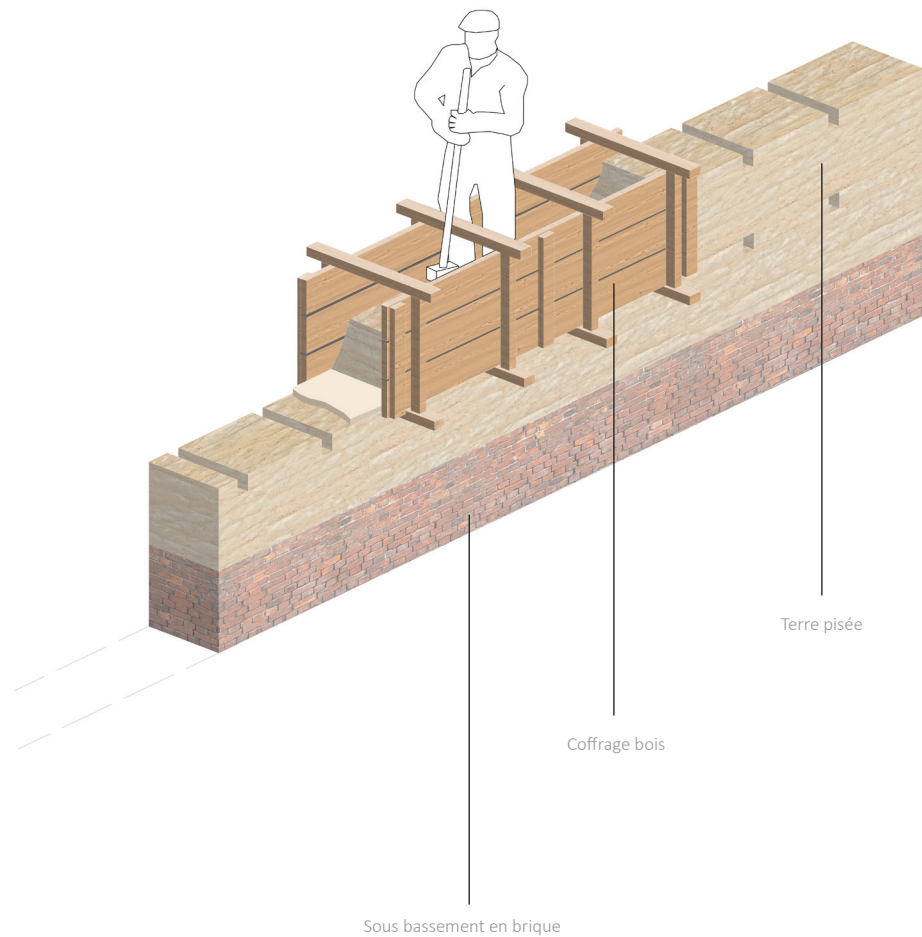
Il existe une autre catégorie que sont **les matières recyclées biosourcées** telles que la fibre de bois ou la ouate de cellulose. Celles-ci sont issues de la valorisation des déchets des scieries avec les résidus de bois ou encore des déchets papiers des imprimeries. On y retrouve la ouate de cellulose, un isolant composé à environ 85% de papier recyclé⁴.

1 Philippe Madec, *Mieux avec moins*, Terre Urbaine, 2021, p.150

2 Ministère de la transition écologique et énergétique, France, *Matériaux de construction biosourcés et géosourcés*, 2021. <https://www.ecologie.gouv.fr/materiaux-construction-biosourcés-et-geosourcés> Consulté le 25/03/2023.

3 Ministère de l'agriculture, *Filière bois : qualités du bois et construction*, 2017, <https://agriculture.gouv.fr/filiere-bois-qualites-du-bois-et-construction#3> Consulté le 25/03/2023.

4 Kanopy, *Ouate de cellulose*, <https://www.kanopy-isolation.fr/isolants/53-ouate-de-cellulose> Consulté le 06/05/2023.



Mise en oeuvre de la terre pisée.

Iconographie réalisée par l'auteur.

Selon l'INIES¹, la ouate de cellulose émet 27,1² kg CO₂/m² sur son cycle de vie³. Ces émissions sont liées au coût carbone de sa transformation, de son transport et de sa mise en œuvre. Cependant, comme le papier qui la compose absorbe du CO₂ lorsqu'il était à l'état naturel, l'émission totale de la ouate de cellulose est réduite à 12,4 kg CO₂/m². Cette isolant durable émet moins que l'isolation en polyuréthane (45,7 kg CO₂/m²) ou que la laine de roche (34,7 kg CO₂/m²).

Les matériaux géosourcés sont eux d'origine minérale, on retrouve principalement la pierre et la terre. La pierre a été massivement utilisée dans la région wallonne avec la présence de nombreuses carrières. Quant à la terre, elle est utilisée depuis des millénaires sous différentes formes comme le mur en **terre pisée**, la **brique de terre** ou encore le **torchis**.

La terre pisée est déversée dans un coffrage bois espacé de 40 à 60 centimètres. Les couches d'une vingtaine de centimètres sont compactées avant d'en recevoir une supplémentaire. Il peut être réalisé à partir de n'importe quel type de terre, autrefois extraite à l'endroit même du projet. Cependant, les terres graveleuses, sableuses ou argileuses possèdent une meilleure stabilité.

1 INIES (Association française des Industries des produits de Construction), base de données de l'empreinte carbone des matériaux <https://www.base-inies.fr/iniesV4/dist/infos-produit> Consulté le 03/02/2023.

2 Épaisseur de l'isolant : 330 mm.

3 Évalué à 50 ans.

2.3 Ecrire et concrétiser les nouveaux récits territoriaux

Définir de nouvelles polarités pour un rapprochement entre urbain périurbain et rural.

La scission grandissante que les villes engagent vis-à-vis de la nature et de leur territoire résulte de son expansion. Paradoxalement, les centres-villes sont en déclin au profit des grandes surfaces commerciales dans leur périphérie. Un projet ne dialogue pas seulement avec son quartier ni sa ville, mais avec son territoire tout entier. La frugalité c'est aussi un projet de **reterritorialisation** pour tenter de limiter la fracture entre urbain et rural.

Pour cela, il faut donc redéfinir les polarités de la ville afin qu'elle ne soit plus centrée sur elle-même. A l'avenir celles-ci serviront **d'articulation** à un territoire pour lier urbain, périurbain et rural. De part la population grandissante, il s'agit dans un premier temps de redéfinir les projets d'urbanisme. Ces projets seront basés sur un urbanisme responsable proposant des alternatives au développement urbain tel que nous le connaissons afin d'éviter inéluctablement le clivage entre ville et campagne. En outre, il s'agit également de rassembler les citoyens autour de projets communs afin de faire émerger l'intelligence collective.



«L'incorporation, la métropole capitaliste absorbe la campagne.»¹

Illustration de Martin Etienne, dessinateur.

<https://martinetienne.com/architecture/>



«La négociation, l'urbanisme intègre l'agriculture à son programme comme une palette de nouvelles composantes.»²

Illustration de Martin Etienne, dessinateur.

<https://martinetienne.com/architecture/>

Établir un projet se basant sur un urbanisme et une agriculture éco-responsable.

Selon Sébastien Marot, théoricien en architecture contemporaine, il existe **quatre scénarios** possibles pour combiner l'expansion des villes et la conservation de l'agriculture : l'incorporation, la négociation, l'infiltration et la sécession.

L'incorporation se base sur l'extrapolation du développement des sociétés. Elle se traduit par une forte concentration urbaine et une délimitation nette entre la ville et la campagne. Cette vision est portée par une intensification technologique permettant le développement à grande échelle de l'agriculture avec des super serres ou des fermes verticales.

Les métropoles contrôlent la campagne informatisée devenue uniquement productive à l'aide de drones ou d'engins agricoles autonomes. Cette vision place tous ses espoirs dans les innovations technologiques en prônant la ville comme espace de concentration ultime de la population.

La négociation part du principe que la croissance des villes est inévitable et qu'il est nécessaire d'étendre celles-ci de manière hybride intégrant habitation et production agricole.

Elle remet en question la limite entre espaces agricoles et espaces d'habitations à l'aide de parc verger, de pépinière, de lotissement maraîcher, de cité vivrière.

Cette approche permet de réduire l'impact environnemental de l'urbanisation, de favoriser la mixité des fonctions tout en renforçant les liens sociaux par le biais du travail partagé. Cependant, cela nécessite une réflexion approfondie sur l'aménagement du territoire et la coordination entre les différents acteurs impliqués dans la gestion de la ville.

1 AA & Archizoom, *Agriculture et architecture, trajectoire communes 3-3*, 2020, Archizoom Papers. <https://www.larchitectureaujourd'hui.fr/archizoom-papers-10-agriculture-et-architecture-trajectoires-communes-3/#:~:text=Infiltration,.%2C%20parcs%2C%20talus%2C%20etc.>

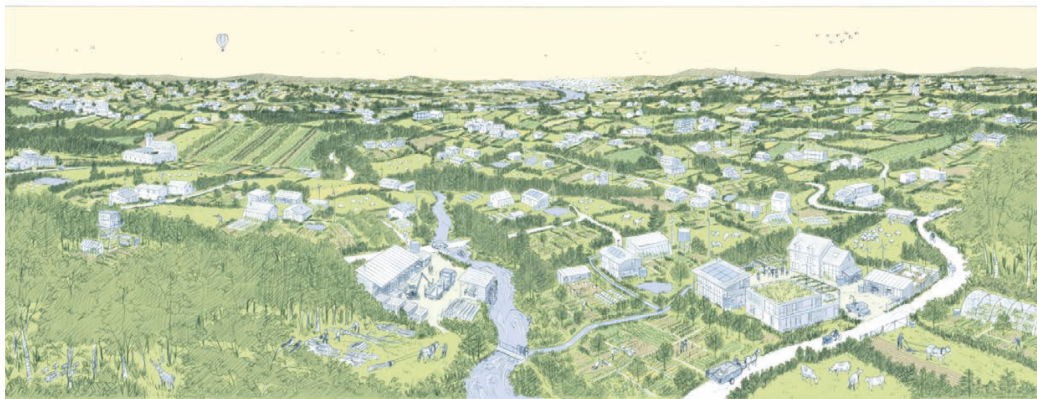
Consulté le 15/05/2023

2 IBID.



«L'infiltration, les pratiques agricoles et horticoles colonisent les villes et leurs marges.»¹

Illustration de Martin Etienne, dessinateur.
<https://martinetienne.com/architecture/>



«La sécession, de nouvelles formes de communes plus autonomes s'affranchissent de l'orbite des métropoles.»²

Illustration de Martin Etienne, dessinateur.
<https://martinetienne.com/architecture/>

L'infiltration est fondée sur le principe de l'agriculture urbaine. Cette approche est en quelque sorte une reconquête du parcellaire par la culture vivrière individuelle ou coopérative. Il n'y a pas de planification stricte, cela se passe par l'investissement des espaces délaissés tels que les friches, les toitures, les parcs. Elle ne remet donc pas en cause l'urbanisation actuelle, mais plutôt tend à s'adapter à celle-ci en utilisant tous les espaces disponibles pour la production agricole.

La sécession est le contraire des autres scénarios. Ici, il est question de se détacher de celle-ci dans une quête d'autonomie et de pérennité. La ville, n'ayant plus le monopole, laisse place à des villages autonomes en production et en consommation pour favoriser la place de la nature.

Les divers modèles dépendent des positions politiques de chacun, mais aussi de la disposition des villes et de leurs besoins. La frugalité tend à la juste maîtrise des éléments dépourvu de toute surconsommation. Ici, **l'incorporation** est contraire à ces fondements en tendant à devenir une ville futuriste créant une rupture totale entre l'être humain et la nature.

La sécession, n'est également pas retenue. Bien que le détachement de la ville en quête d'une autosuffisance soit durable, ici on ne tient pas compte de l'existant, on s'affranchit des villes et on recrée un nouveau modèle d'ailleurs.

La négociation implique une large expansion de la ville relevant du projet d'urbanisme intégrant le développement urbain et l'agriculture comme deux entités. L'idée d'un urbanisme agricole prend tout son sens dans les villes en fort développement cherchant un nouvel urbanisme plus durable. Cependant, dans le cas où nous cherchons à ne pas amplifier ce phénomène, reconstruire la ville sur la ville par le scénario de **l'infiltration** est plus en adéquation avec la frugalité.

1 AA & Archizoom, *Agriculture et architecture, trajectoire communes 3-3*, 2020, Archizoom Papers. <https://www.larchitectureaujourd'hui.fr/archizoom-papers-10-agriculture-et-architecture-trajectoires-communes-3/#:~:text=Infiltration,.%2C%20parcs%2C%20talus%2C%20etc.>

Consulté le 15/05/2023

2 IBID.

Cœuvrer pour renforcer l'implication citoyenne vers des projets partagés.



Jardin potager collectif, Paris, IX^e.

Marc Bertrand.

L'implication communautaire s'impose comme la clé de voûte de la réussite des projets collaboratifs. Ces projets, fruits d'initiatives collectives, requièrent la participation active de la communauté dans leur conception, leur mise en place et leur évaluation.

Ils cherchent à répondre aux besoins des populations locales, à resserrer les liens sociaux et à améliorer la qualité de vie des citoyens. La participation citoyenne dans ces projets permet aux résidents d'acquérir **un rôle central**, de contribuer à la détermination des objectifs et des priorités du projet, de prendre part à la prise de décisions, de fournir les ressources nécessaires à sa concrétisation, et de participer à sa mise en œuvre. Ce procédé vise également à garantir une transparence accrue et une meilleure responsabilité en impliquant directement les bénéficiaires dans le suivi et l'évaluation du projet.

Les projets collaboratifs peuvent prendre diverses formes, allant de la requalification d'espaces publics à la création de jardins partagés, en passant par l'implémentation de systèmes de recyclage ou encore la création d'entreprises locales. Dans tous les cas, l'implication citoyenne se révèle comme un élément crucial garantissant la **réussite** et la **pérennité** de ces projets.

La frugalité émerge comme un nouveau mode de pensée pour répondre aux enjeux actuels. C'est un défi collectif qui implique une prise de conscience de tous les acteurs pour préserver notre planète. On pourrait résumer ce concept par une citation de Pierre Rabhi :

« La planète Terre est à ce jour la seule oasis de vie que nous connaissons au sein d'un immense désert sidéral. En prendre soin, respecter son intégrité physique et biologique, tirer parti de ses ressources avec modération, y instaurer la paix et la solidarité entre les humains, dans le respect de toute forme de vie, est le projet le plus réaliste, le plus magnifique qui soit. »¹.

1 Pierre Rabhi, *Vers la sobriété Heureuse*, Babel, 2013, p.141

Reconstruire la ville par l'intermédiaire des **friches urbaines** semble la solution pour limiter l'étalement urbain. En effet, la réhabilitation permet de tendre vers la frugalité avec la réutilisation de l'existant. Le travail de la densité est un facteur avec lequel composer qui ne doit pas tendre à s'éparpiller mais à se concentrer en ville, sans atteindre la surdensité.

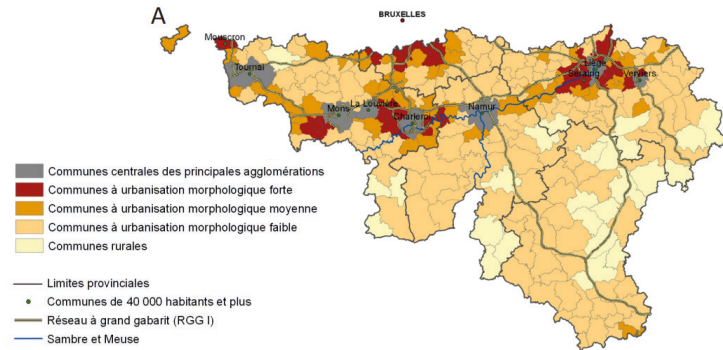
Les villes possèdent le plus souvent autour d'elles des paysages agricoles qui sont à conserver et non à urbaniser, même partiellement. **L'infiltration** relève donc d'investir l'agriculture en ville au travers de tous les espaces disponibles : **parcs, cours et cœurs d'îlot**. C'est à travers les opportunités existantes que le scénario de la ville de demain devrait se baser. On pourrait conclure que le scénario de l'infiltration est une vision également partagée par J. Haetjens :

« Pour réconcilier la ville avec la nature, il n'est pas indispensable de la mêler aux activités agricoles ou forestières. La ville frugale n'est pas celle qui se délite dans la campagne, mais celle qui sait décliner, en son cœur urbain, toute forme possible de rapport entre minéral et végétal. »².

2 Jean Haëntjens, *La ville frugale, l'écopoche*, 2021, p.92

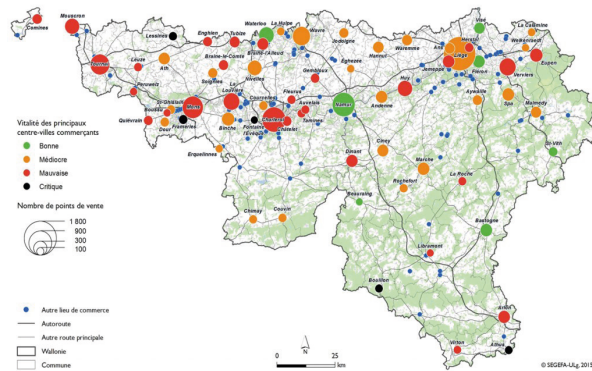
CHAPITRE 3

LA FRUGALITÉ, ÉTUDE DE CAS DE LA VILLE DE TOURNAI



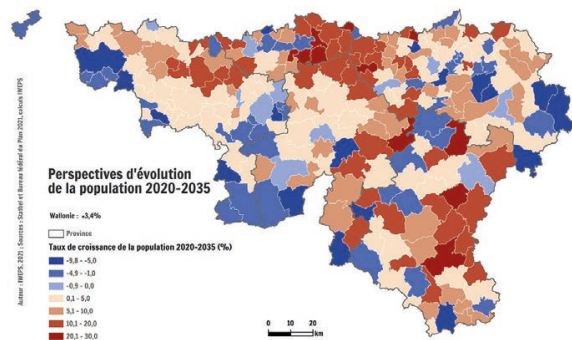
Carte des communes wallonnes en fonction de leur niveau d'urbanisation morphologique.

Enquête socio-économique 2001, Cartographie CREAT, UCL, 2008.



Vitalité des principaux centres-villes commerçants.

Sogepa, Wallonie Commerce, 2016.



Perspective de l'évolution de la population 2020-2035.

IWEPS, 2023.

1.1 Etat des lieux en Wallonie

Les grandes communes de Wallonie partagent un point commun : elles sont traversées par **les voies fluviales**. Allant de Tournai jusqu'à Verviers, l'eau a joué un rôle crucial dans leur développement au fil des siècles notamment grâce au commerce.

Autrefois, ces grandes villes dont le centre était très actif sont maintenant en **déclin**. Les cœurs de ville sont définis comme «la partie fondamentale de l'organisation urbaine : celle qui assure la vie et l'activité [...] qui assure le développement urbain et régit les rapports avec la périphérie urbaine et rurale»¹. Le déclin des centres villes se fait principalement sentir au niveau des commerces, concurrencés par les centres commerciaux en périphérie.

¹ Pierre Merlin, Françoise Choay, *Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement*, Presses universitaires de France, 1988, p.145

En croisant les données de la croissance démographique de la population wallonne avec la densité d'habitants des villes, on constate que les grandes communes ne sont pas celles qui enregistrent la plus forte progression. En effet, en se penchant sur les chiffres de la ville de Tournai, on remarque qu'elle est actuellement en **décroissance** et qu'elle tend à l'être davantage d'ici 2035.

1.2 La ville de Tournai

L'étalement urbain.

La décroissance de la population de Tournai se constate également à son échelle communale, le centre-ville perd de ses habitants au profit de sa périphérie¹. Ce phénomène a commencé vers **1970**, lors de la fusion de la ville avec ses communes proches. A cette époque, les « *régions urbaines accueillent 57% de la population Wallonne, en 2020, elles n'en accueillent plus que 52,4%* »².

Dès lors, Tournai s'est rapidement développée engendrant avec elle le phénomène **d'étalement urbain**, la ville s'étend et les campagnes reculent. Les villages environnants se sont urbanisés avec l'implantation des quartiers pavillonnaires ajoutant de nouvelles couches au cœur urbain. Dans un même temps, l'expansion de la ville a généré de nouvelles polarités commerciales déstabilisant le centre urbain.

Les commerces en cœur de ville sont donc de plus en plus désertés, concurrencés par les zoning commerciaux de Froyennes au nord et des Bastions au sud. Pour l'année 2022, c'est presque 17% des cellules commerciales qui sont vides selon l'Association du management de centre-ville³.

L'étalement urbain de Tournai, peut également être interprété au travers de son tissu urbain et de sa capacité à répondre aux besoins en logements. La situation du parc immobilier vieillissant de la ville a pour conséquence une augmentation du nombre de **logements vacants**.

De plus, la présence de commerces en rez-de-chaussée est très souvent l'unique entrée pour les appartements des étages supérieurs. Ces typologies contribuent à la vacance de bâtiments entiers voués à la seule fonction commerciale.

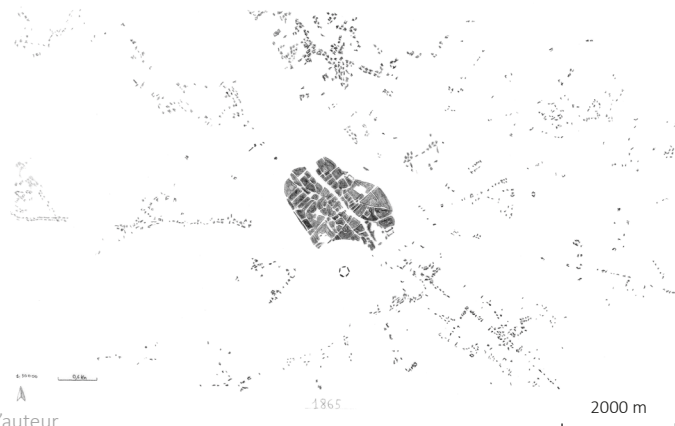
1 Voir carte de l'évolution de la population tournaisienne, annexe 1

2 ODT (Observatoire du Développement Territorial), FICHE 4 : ÉTALEMENT URBAIN (ET PERIURBANISATION), QUELQUES MESURES, 2020, p.1

3 AMCV <https://www.amcv.be/>

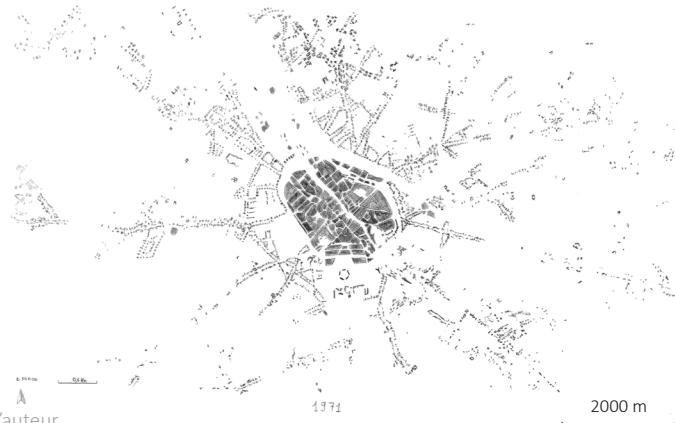
Tournai, 1865.

Iconographie réalisée par l'auteur.



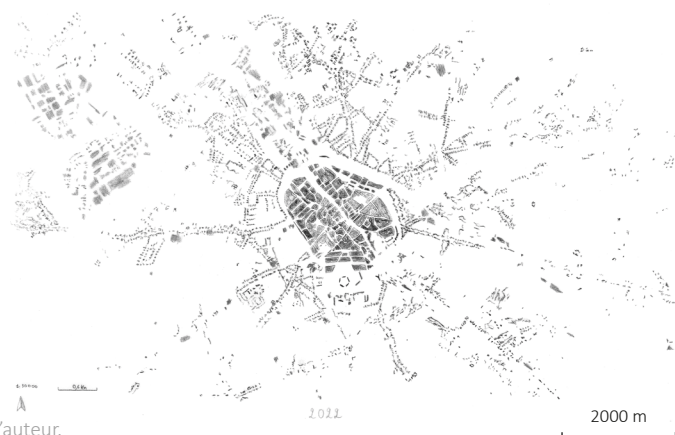
Tournai, 1971.

Iconographie réalisée par l'auteur.



Tournai, 2022.

Iconographie réalisée par l'auteur.





Tournai et son étalement urbain actuel, 2023.

Iconographie réalisée par l'auteur.

Ainsi, nous pouvons nous demander de quelle manière il est possible de réduire cet étalement urbain. L'un des engagements pris au sein du mouvement de la frugalité nous apparaît déjà comme une réponse : **Sanctuariser les secteurs de biodiversité et les terres agricoles.**

On retrouve déjà cet engagement en Belgique sous l'action « **stop béton** » ou plutôt « stop à l'urbanisation ». Cette mesure vise à protéger les terres agricoles, les espaces verts et les zones naturelles en limitant la pression foncière sur les espaces encore vierges de toutes constructions. Celle-ci est apparue en réponse à la croissance rapide de l'urbanisation en Wallonie entraînant une perte importante des terres agricoles et des zones naturelles.

Selon l'IWEPS¹, entre 1985 et 2020, ce sont plus de 575 km² de terres qui ont été artificialisées dans la région Wallonne. Par ce constat, l'initiative stop béton favorise la densification urbaine à travers la réutilisation des sites urbains existants.

Si nous nous concentrons sur la ville de Tournai, le fait de s'intéresser aux espaces déjà urbanisés est une solution à la **limitation de l'étalement urbain** et à la **préservation des secteurs de biodiversité**. Nous avons vu, en effet, que la réappropriation des espaces existants délaissés telle que les friches urbaines permet de sortir du mode classique d'aménagement et de se baser sur le modèle de l'urbanisme circulaire².

La réhabilitation de ces sites en centre urbain apparaît comme un levier permettant de prioriser l'occupation d'espace déjà artificialisé avant toute extension urbanistique en périphérie. Il s'agit d'ailleurs du troisième engagement de la frugalité que nous avons abordés précédemment. L'objectif ici est donc de venir densifier les centres urbains par l'utilisation des espaces déjà urbanisés.

1 IWEPS, *Artificialisation des sols*, 2023, <https://www.iweps.be/indicateur-statistique/artificialisation-du-sol/>. Consulté le 16/05/2023

2 CF Chapitre 2, 2.1 – Préserver le sol comme notre Terre, occuper les friches urbaines avant tout étalement urbain, p.72

1.3 Les sites à réaménager



■ SAR déjà réhabilité.
 ■ SAR non prioritaire.
 ■ SAR prioritaire.
 ■ Bâtiment vacant.

Les sites à réaménager (SAR). 200
 Iconographie réalisée par l'auteur.

Donnée source : M. Bauwens, LOCI Tournai, 2017-2018 / WalOnMap.
 Note : les sites numérotés correspondent aux SAR réhabilités ou en cours de réhabilitation.

| CRITERES \ SAR | 1 Site du Trefle | 2 Mont de Piète | 3 Site de l'union ferronière | 4 Ancienne fonderie saint jean | 5 Collège ITCF | 6 Savonnerie Pollet |
|-------------------------------------|---------------------|--------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------|------------------------|
| Etat de la structure | + | + | - | + | -- | ++ |
| Etat actuel des bâtiments | - | - | - | + | -- | ++ |
| Valeur patrimoniale / historique | + | ++ | - | + | -- | + |
| Capacité de transformation du site | + | - | - | - | ++ | ++ |
| SAR situé en densité urbaine faible | - | - | + | - | + | + |

Pour reprendre la citation de A. Bornarel, « **la frugalité, c'est d'abord la réhabilitation** »¹.

En effet, nous avons pu voir que la réutilisation de l'existant est une façon efficace de réduire notre empreinte carbone en tirant parti de ce qui est déjà construit.

Il existe de nombreuses opportunités pour reconstruire les centres urbains à Tournai grâce à la présence de friches urbaines, regroupées sous l'appellation «**sites à réaménager**». Ceux-ci sont à distinguer des bâtiments vacants ou abandonnés, les SAR regroupent uniquement des biens immobiliers dont la destination première était autre que du logement². Certains d'entre eux ont déjà été démolis pour être reconstruits tels que l'îlot Madame (7), ancienne piscine municipale démolie pour y construire des logements résidentiels et un pôle économique.

L'analyse des sites à réaménager prioritaires de Tournai se base sur un AFOM (Atout, Faiblesse, Opportunité et Menace) permettant de déterminer la pertinence d'un site selon plusieurs critères³. Dans l'optique d'être frugal en énergie, en matériaux et en ressources, le site choisi trouvera sa force et sa pertinence dans sa capacité à transformer sa fonction initiale en habitat. La structure, l'état du bâtiment ou encore les volumes déjà présents seront le fondement du choix.

Au vu des sites disponibles, partant d'un principe de densification, l'ancienne fonderie Saint-Jean (4), le collège ITCF (5) et la savonnerie Pollet (6) se situent dans un quartier dont la densité urbaine est plus faible que dans l'hypercentre. Parmi eux, **la savonnerie Pollet** est le choix le plus logique dans sa capacité à pouvoir se transformer pour répondre à la demande en logements. Nous pourrions alors nous demander de quelle manière il serait possible d'atteindre la densité attendue d'une ville frugale.

1 Alain Bornarel, *Les entretiens de l'observatoire de la qualité architecturale du logement en île-de-france*, par CAUE, 2020. <https://www.caue-idf.fr/exploration-2020/alain-bornarel> consulté le 13/02/2022

2 Voir définition d'une SAR, Annexe 2

3 Analyse des sites, voir annexe 2

1.4 La ville frugale

Au sein de cette prochaine partie, nous chercherons à appliquer ce concept de ville frugale à la ville de Tournai, et ce à travers l'équation à quatre inconnues de J. Haetjens.

Compacité et désir d'espace

La ville frugale, comme définie par J. Haetjens, « se situe plutôt dans la zone des densités moyennes qui est celle des petits immeubles et des maisons de ville »¹, soit une densité située entre **100 et 200 Hab/Ha**.

1 Jean Haëntjens, *La ville frugale, l'écopoche*, 2021, p.50 d'après l'article d'Éric Charmes, *la densification en débat*.

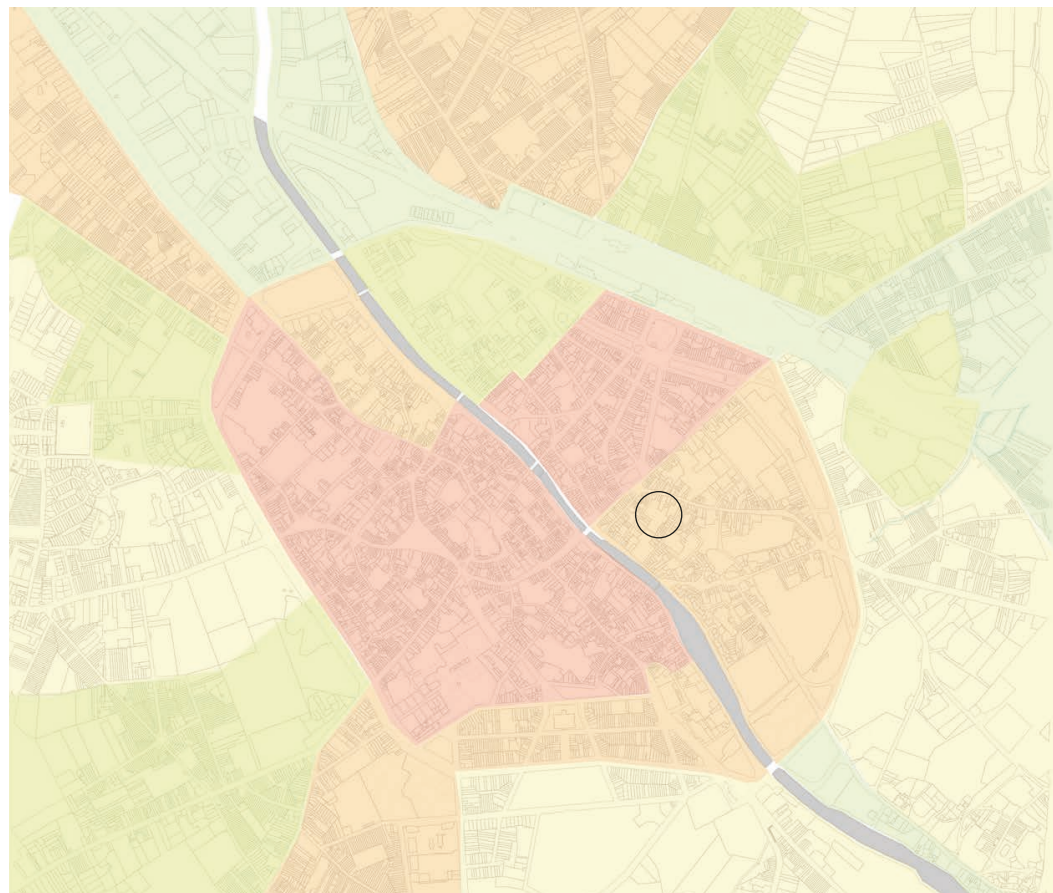
La densité moyenne de Tournai intra-muros s'élève à 65,3 hab/ha. Le centre urbain de Tournai n'est pas densément peuplé comparé aux autres grandes villes voisines comme Mons [79,7 Hab/ha] ou encore Charleroi [70,4Hab/Ha].

Le centre historique Tournaisien est l'espace urbain abritant la plus grande densité d'habitants à l'échelle de la ville. Elle est comprise entre 50 et 76 Hab/ha. Cette densité reste bien inférieure à la densité minimale d'une ville moyenne qui est de 100 hab/ha.

De plus, chaque quartier de Tournai n'abrite pas la même densité de population. La sous densité urbaine apparait être une alternative avec laquelle composer pour densifier la ville et réactiver le centre. Ce choix de site de la savonnerie Poolet était alors en tout point idéal de par sa densité. Il se situe dans une zone de densité de population comprise entre 30 et 50 Hab/Ha.

Partant du principe d'une densification de population par la création de logements en centre urbain, il faudrait au sein de ce site arriver à 100 Hab/Ha. La surdensité n'est pas un objectif au risque de déséquilibrer la densité moyenne urbaine. Nous avons effectivement pu voir avec le graphique de Vincent Fouchier² qu'au-delà de 100 Hab/Ha, la consommation en énergie diminue très lentement.

2 Relation entre densité et consommation d'énergie, V. Fouchier p.58



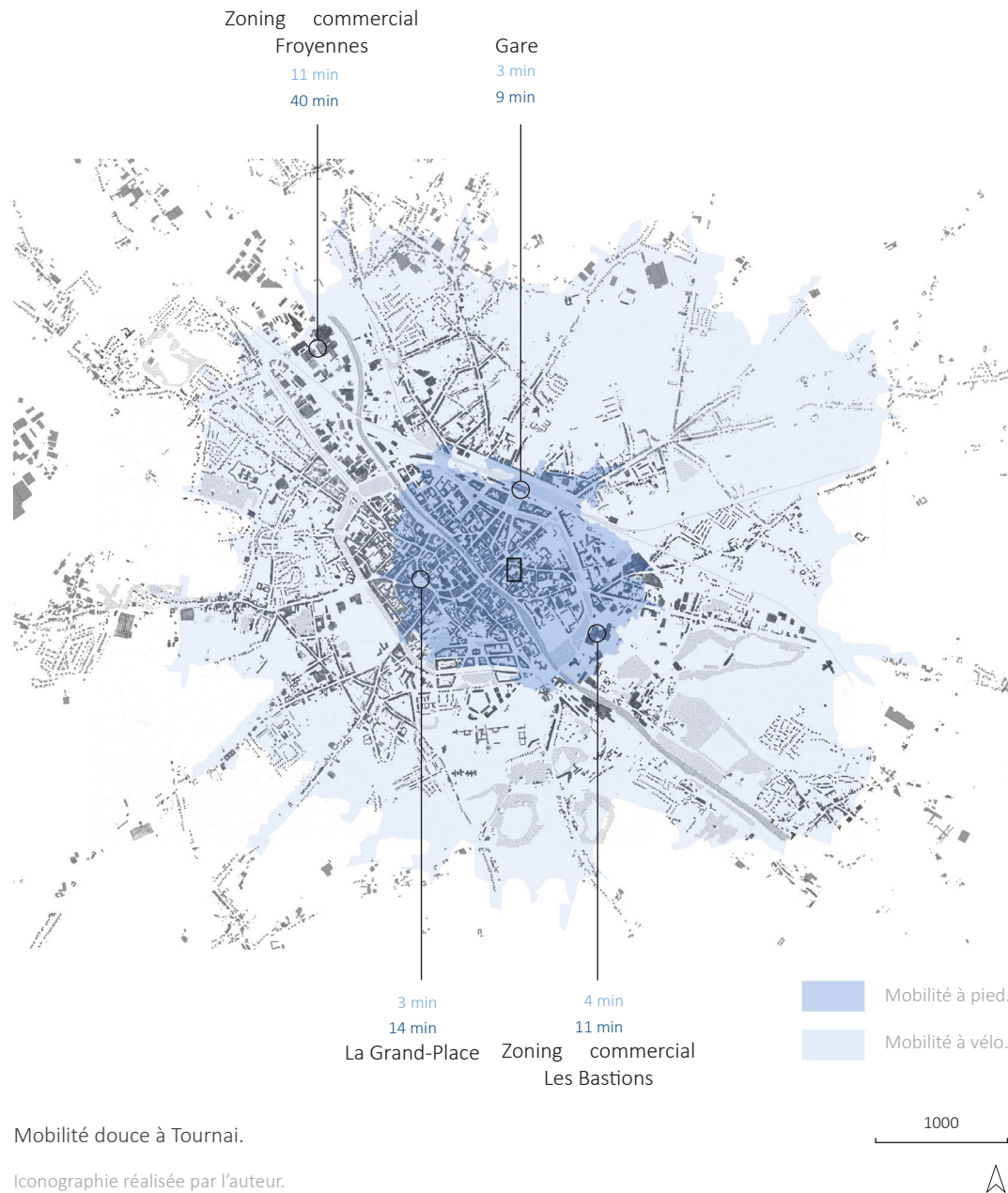
Carte des densités de population en fonction des quartiers.

Iconographie réalisée par l'auteur.

Données source : Walstat.iweeps.be

200





Mobilité douce à Tournai.

Iconographie réalisée par l'auteur.

Mobilité et sobriété.

Comme nous avons pu le voir avec l'urbaniste Carlos Moreno, la « **ville du quart d'heure** » est un modèle urbain où chaque habitant peut accéder aux nécessités quotidiennes en moins de 15 minutes par la mobilité douce.

La ville de Tournai est propice à cette mobilité. Son centre urbain dont le diamètre est inférieur à **3 kilomètres**, peut être traversé intégralement à pied en moins de 15 minutes. Le site de la savonnerie Pollet possède également cet avantage de taille : il se situe en plein cœur urbain.

De ce fait, la ville est donc facilement accessible à pied pour les trajets quotidiens. Ceci permet alors aux activités d'être concentrées et non dispersées au sein du centre urbain. Concernant l'accès à sa périphérie le vélo complète la marche à pied en offrant un périmètre plus confortable. En prenant exemple sur la gare, la Grande-Place ou le zoning commercial les Bastions sont des lieux accessibles à pied en moins de 15 minutes. Au-delà, pour aller au zoning commercial de Froyennes, le vélo s'impose autant que la voiture.

De plus, la ville de Tournai est aisément accessible en train depuis les grandes villes telles que Bruxelles en une heure ou encore Paris en une heure et demi.

Polarité et centralité

Édifice public Espace vert Habitat Commerces

Analyse du tissu urbain de la ville de Tournai.

Iconographie réalisée par l'auteur.

Donnée source : M. Bauwens, LOCI Tournai, 2017-2018

200



Pour compléter la mobilité douce, la ville frugale doit être pourvue d'une **diversité de services** pour répondre aux besoins de chaque habitant. La ville trouve sa force dans la capacité à avoir accès rapidement aux valeurs d'usages telles que les services publics, l'éducation, le culturel, la santé, le sport, les petits commerces, les services, le loisir ou les espaces verts qui se situent en grande partie en cœur de ville.

Le tissu urbain tournaisien de part sa faible superficie, agit comme une centralité pour sa commune. Tous les services publics, les écoles, la culture se situent au cœur de la ville. Les polarités sont concentrées dans le tissu urbain à l'exception des polarités commerciales qui se sont développées au nord et au sud.

Habiter en ville c'est donc avoir accès rapidement, sans l'usage de la voiture, aux différents services et équipements urbains.



Les différentes ZAC de Tournai.

Iconographie réalisée par l'auteur.

Donnée source : WalOnMap.

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
|--|------|------|------|-------|-------|------|-------|-------|----------|
| Superficie moyenne des parcelles (m ²) | 1133 | 683 | 269 | 257 | 517,2 | 209 | 194,4 | 211,5 | 648,5714 |
| Espace vert privé par logement (m ²) | 650 | 545 | 192 | 104,3 | 348 | 82,3 | 108,5 | 137,4 | 532,8571 |
| Nombre de logements par hectare | 8 | 12,5 | 29,9 | 18,9 | 15,4 | 35,4 | 34,7 | 31 | 11,9 |
| Surface végétalisée extérieur par habitant (m ²) | | | | | | | | | |
| Surface commune végétalisée (m ²) | | | | | | | | | |

- A. Maison pavillonnaire quatre façades, grande superficie de terrain, rue de Breuze
- B. Maison pavillonnaire quatre façades, moyenne superficie de terrain, avenue Résidence Saint-Marçq
- C. Maison mitoyenne deux façades, petite superficie de terrain, rue des Brasseurs
- D. Logements collectifs, pas de jardin privatif, uniquement commun, rue des Brasseurs
- E. Maison mitoyens deux trois façades, moyenne surface de terrain, cité du 24 août
- F. Maison mitoyennes deux façades, petite superficie de terrain, chaussée de Renaix
- G. Maison mitoyenne deux façades, petite superficie de terrain, chaussée de Renaix
- H. Maison mitoyenne deux façades, moyenne surface de terrain, cour Cateau
- I. Maison pavillonnaire quatre façades, moyenne superficie de terrain, rue du Corbeau

Analyse des densités et des surfaces végétales en fonction des typologie d'habitat dans la périphérie de Tournai.

Iconographie réalisée par l'auteur.

Donnée source : Rapport urbanistique de la ZACC Morel.

Qualité urbaine et modération des coûts urbains

Avec le développement de son attractivité économique, la ville projette d'étendre et de continuer son expansion. Plusieurs **ZACC**¹ sont étudiées pour poursuivre cette urbanisation dans les prochaines années.

Habiter en ville, c'est renoncer au pavillonnaire accompagné de son grand jardin. La plupart des maisons unifamiliales en Wallonie en possède un, que ce soit pour les propriétaires (89%) ou les locataires (47%). Pour les habitats collectifs, cela représente 2% des propriétaires et 7% pour les locataires².

Dans la périphérie de Tournai, la ZACC Morel a fait l'objet d'une étude en vue de son urbanisation portant sur les diverses densités d'habitats présentes dans la périphérie nord afin de déterminer la densité de population en zone périphérique³.

De cette analyse on distingue plusieurs points qui sont la superficie moyenne des parcelles selon les différents quartiers, la taille moyenne des jardins ainsi que la densité urbaine en logements par hectare. En moyenne, dans la zone périurbaine de Tournai, les jardins des maisons unifamiliales sont de 300 m² pour une surface parcellaire de 460 m².⁴

Ces espaces extérieurs privés offrent un confort supplémentaire dans le cadre de vie : proximité d'espace vert, espace extérieur intimiste, possibilité d'exercer des activités ludiques et sportives, etc. Tant de qualités que l'on ne retrouve pas dans le centre urbain, massivement artificialisé où les parcs et espaces publics arborés ne représente que 5% du tissu urbain.

L'un des objectifs d'une ville frugale était cependant de trouver une alternative pour compenser le manque d'espaces extérieurs tout en diminuant les coûts urbains.

Ainsi, pour tendre à offrir plus de confort en ville, il serait judicieux d'offrir aux habitants une surface équivalente voire supérieure à un jardin pavillonnaire. Cette surface aura pour but d'ailleurs de concentrer des espaces publics, la nature et des loisirs d'une surface équivalente voire supérieure à celle de la périphérie.

1 ZACC (Zone d'aménagement concerté)

2 Energie Wallonie, *Chapitre 4 : Analyse du bâti*, p.128

3 ZACC Morel, *élaboration d'un rapport urbanistique et environnemental*, 2018, p.31

4 CF Tableau *Analyse des densités et des surfaces végétales en fonction des typologie d'habitat dans la périphérie de Tournai*.

1.5 L'infiltration comme reconnexion

Comme nous avons pu le voir avec S. Marot et les quatre scénarios des villes de demain, **l'infiltration** se révélait être le plus en adéquation avec la frugalité. Ce scénario se base sur une appropriation des sols urbains non utilisés tels que les friches, les toitures ou les parcs pour en faire de l'agriculture urbaine, et ainsi renaturaliser la ville.

Comme nous avons pu le constater, avec l'étalement urbain, la ville de Tournai perd peu à peu contact avec sa périphérie agricole. Si nous suivons et appliquons le scénario d'infiltration à la ville de Tournai, celui-ci pourrait permettre de reconnecter le cœur urbain à la nature et à sa périphérie rurale.

De plus, renaturer le cœur urbain grâce à l'agriculture urbaine est en adéquation avec les engagements de la frugalité comme le fait de « *définir de nouvelles polarités pour un rapprochement entre urbain périurbain et rural* ». Celui-ci permet de contrer l'étalement urbain qui génère une fracture territoriale.

Le scénario d'infiltration, au-delà de rapprocher le monde urbain et rural, permet de reconnecter l'esprit citoyen. En effet, le dernier des neuf engagements pour la frugalité tend à « *œuvrer pour renforcer l'implication citoyenne vers des projets partagés* ». L'agriculture urbaine gérée par les habitants et non par des professionnels permet de générer du lien social.

De nombreuses initiatives existent déjà en ville, nous pouvons citer le jardin du séminaire de Choiseul qui possède une large surface maraîchère de plus de 7 000m² en centre urbain destinée à la réinsertion professionnelle. Le travail de la terre en centre urbain agit comme un noyau social centré autour de la culture agricole à l'échelle humaine.



Tournai et sa périphérie agricole.

Iconographie réalisée par l'auteur.

Donnée source : WalOnMap.

1.6 L'histoire du site

La société Pollet est spécialisée dans la fabrication de savon, ses origines remontent à 1763 dans l'hypercentre de Tournai. Au XVIII^e siècle, la logique de développement industriel se concentrait dans les centres-villes pour bénéficier de la proximité des clients, des fournisseurs et de la main-d'œuvre. La société Pollet a déménagé dans le quartier St-Brice en 1778 et a progressivement transformé l'îlot en quartier industriel¹.

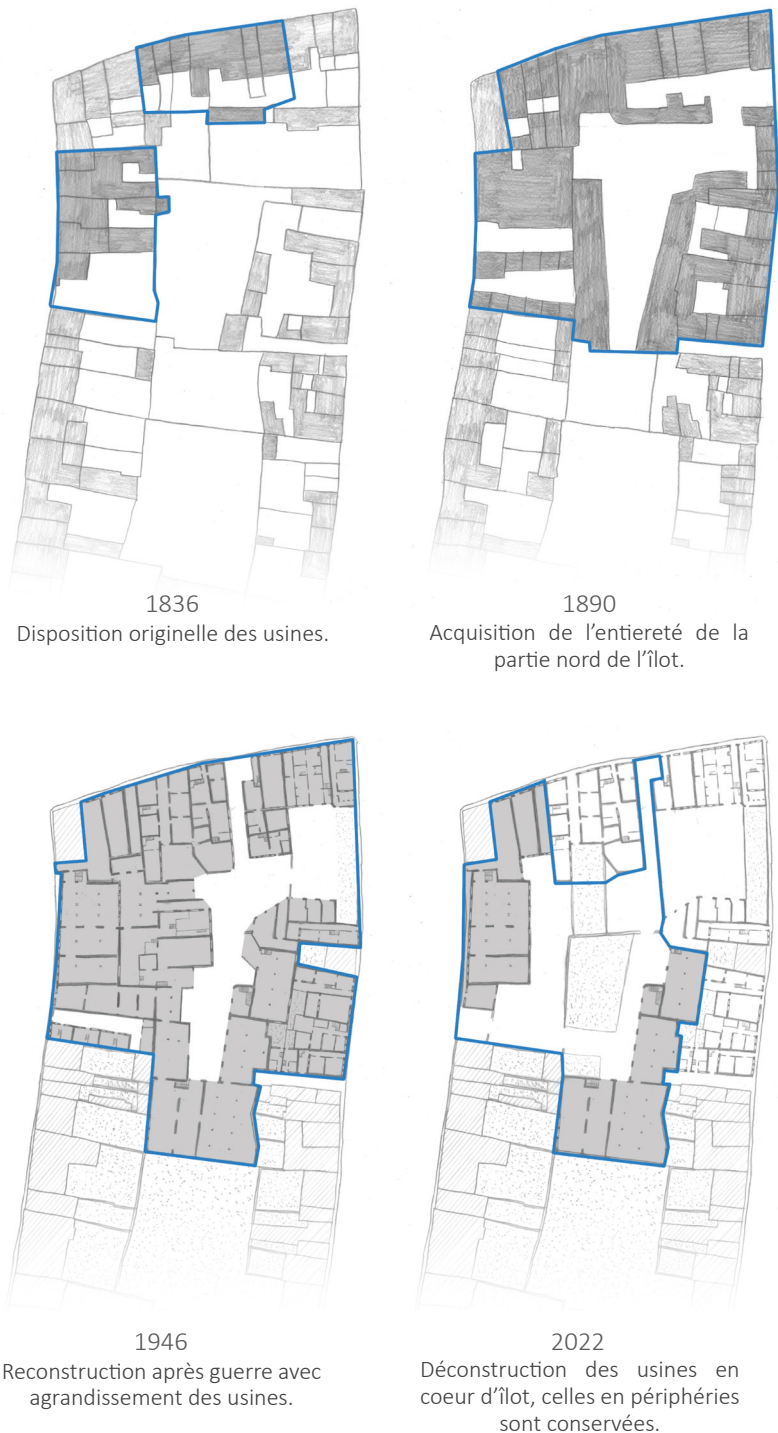
Les plans cadastraux de 1836 révèlent les premières traces d'activité. Le quartier s'est développé autour des usines en cœur d'îlot avec des maisons ouvrières, construites par la société. Dès lors, elle a connu une grande expansion jusqu'à la Snde Guerre Mondiale où elle fut touchée par les bombardements.

Après la guerre, la reconstruction du site a permis à celui-ci de s'agrandir et de reprendre son activité jusqu'en 1994. L'entreprise a été alors contrainte de déménager pour des raisons de réglementation : la production était devenue impossible dans les usines en raison de leur vétusté. Le site a été vendu et la société a déménagé dans la zone industrielle de Tournai.

Le site était en très mauvais état sanitaire. C'est à partir de 1999 que le propriétaire actuel engage une restructuration totale du site. Une grande partie des bâtiments situés au cœur de l'îlot ont été démolis et transformés en jardin et parking à l'exception de ceux en front à rue et en périphérie interne de l'îlot. Par la suite, les usines ont été rénovées avec le remplacement des châssis rendant les bâtiments étanches à l'air et à l'eau. Les façades ont été rénovées, les toitures réétanchéifiées.²

1 Voir illustration : La ville de Tournai en plein essor lors de la révolution industrielle. L'ancienne savonnerie Pollet. p.20

2 Evolution du site depuis 1995 par relevé photographiques, voir Annexe 3

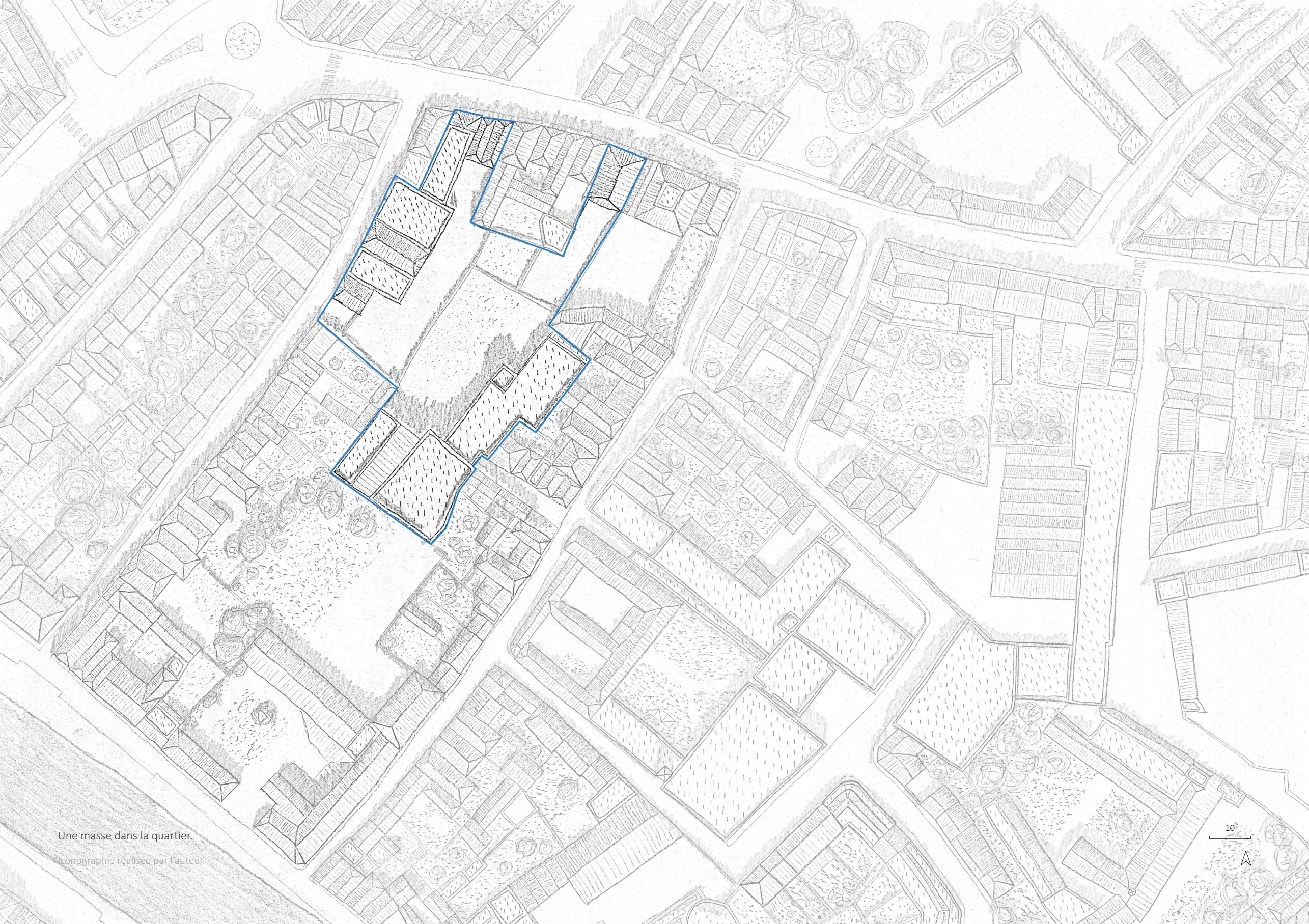


Evolution du site de la savonnerie Pollet au fil des siècles.

Iconographie réalisée par l'auteur.

20





Une masse dans la quartier.

Iconographie réalisée par l'auteur.

10'



| Surface - Batiment | A-B | C | D | E | F | G | H | I-J-K | L |
|--|---|----------------------------|--------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|-------------------------------|--|---------------------|
| Caractéristiques | Maison de ville | Ancienne usine | Ancienne usine | Ancienne usine | Maison de ville | Ancienne usine | Ancienne zone de déchargement | Ancienne usine | Cœur d'îlot |
| Nombre de niveaux | R+3 | R+2 | RDC | RDC | R+1 | R+3 | RDC | R+1 | |
| Structure portante | Brique | Poteau - Poutre métallique | Brique | Poteau - Poutre Béton | Brique | Poteau - Poutre Béton | Poteau - Poutre Béton | Poteau - Poutre Béton | |
| Surface de plancher des différents bâtiments [m ²] | 186 m ² - 145 m ² | 241 m ² | 136 m ² | 146 m ² | 56 m ² | 172 m ² | 144 m ² | 363 m ² - 155 m ² - 226 m ² | 2524 m ² |

| | |
|---|------|
| Surface de l'emprise au sol des bâtiments [m ²] | 1970 |
| Surface totale de planchers sur l'entièreté du site [m ²] | 4761 |

| | |
|---|------|
| Surface totale extérieure [m ²] | 2524 |
| Surface totale bâti (épaisseur de mur comprise) [m ²] | 2263 |

| | |
|---------------------------------------|------|
| Surface totale îlot [m ²] | 4787 |
|---------------------------------------|------|



Etat des lieux du site.

Iconographie réalisée par l'auteur.

1.7 Etat des lieux

Le site est accessible depuis trois entrées différentes dont la principale se trouve rue Saint-Brice par un porche en brique¹. Les deux autres accès sont secondaires, initialement prévus pour les maisons ouvrières attenantes².

Les édifices sont différents selon leur volume : on peut repérer deux grandes entités. La première, adjacente à deux rues est composée d'un assemblage de volumes s'attachant au tissu urbain³. La deuxième, en cœur d'îlot est de nature plus harmonieuse dans les volumes existants⁴.

Les volumes existants qui ont été maintenus depuis l'activité du site cumulent une surface totale au sol de 1970 m². En comptabilisant les différents niveaux, c'est plus de 4700 m² de planchers existants dans l'entièreté du site. A côté de cela, le cœur d'îlot possède une surface de plus de 2350 m².

Les bâtiments sont dans la quasi-totalité de la même nature structurelle. Issus de l'après-guerre, les édifices sont construits selon un système d'ossature poteaux-poutres en béton. La structure permet d'avoir un plan relativement libre supportant des planchers en béton. Cette ossature vient être complétée d'un parement en brique d'une épaisseur de 30 cm imbriquant la structure de l'édifice⁵.

A l'exception des autres bâtiments, l'édifice C possède un système structurel d'une autre nature. Ici la structure est régie par une ossature poteaux-poutres métallique en I supportant des planchers à voûtain en brique.

Tous ces bâtiments se composent systématiquement d'une toiture plate bitumineuse à l'exception des maisons de villes intégrées au tissu urbain. Ces toitures sont accessibles depuis des circulations verticales ponctuant le site.

1 Voir image n°3

2 Voir image n°4 et n°5

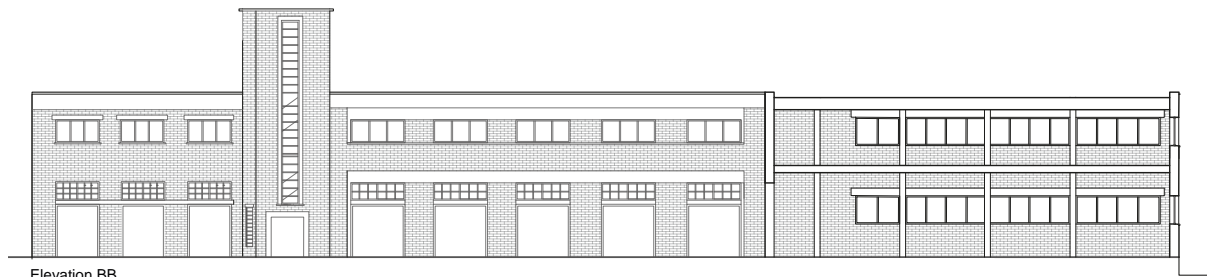
3 Voir coupe AA

4 Voir coupe BB

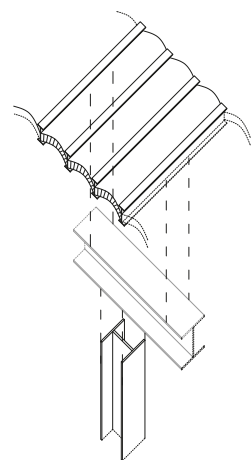
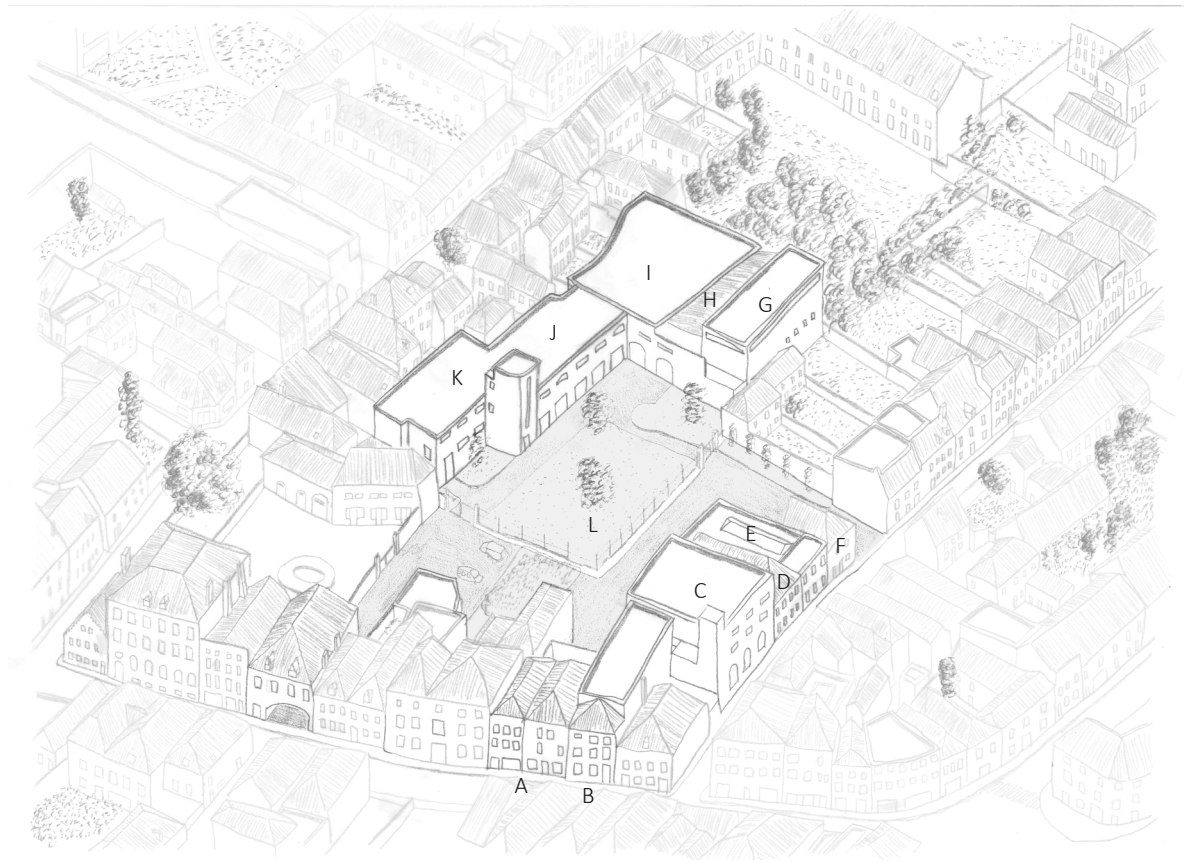
5 Voir détail n°4



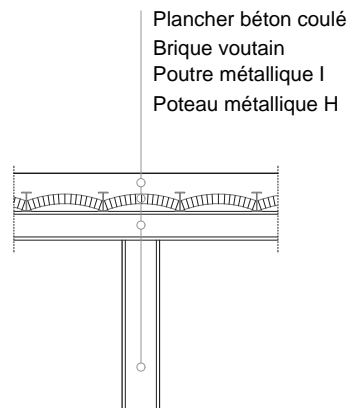
Elevation AA



Elevation BB

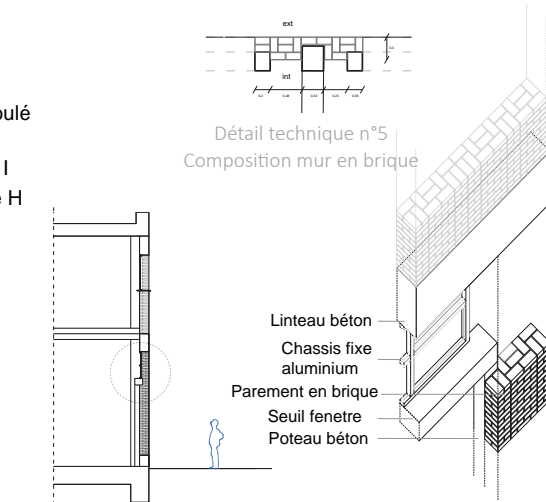


Détail technique n°1
Assemblage poutrelle-voutain

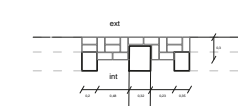


Détail technique n°2
Assemblage poutrelle-voutain

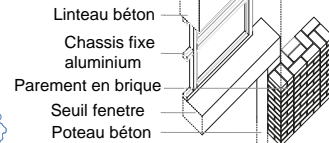
Plancher béton coulé
Brique voutain
Poutre métallique I
Poteau métallique H



Détail technique n°3
Composition mur en brique



Détail technique n°5
Composition mur en brique



Détail technique n°5
Assemblage mur en brique

Linteau béton
Chassis fixe aluminium
Parement en brique
Seuil fenetre
Poteau béton



Image n°1



Image n°2



Image n°3



Image n°4



Image n°5



La densité au niveau de l'îlot.

Iconographie réalisée par l'auteur.

| | Nombre de typologie | pourcentage | nombre de personnes par typologie | Population totale |
|-------|---------------------|-------------|-----------------------------------|-------------------|
| T1 | 16 | 27 | 1,5 | 24 |
| T2 | 16 | 27 | 1,5 | 24 |
| T3 | 16 | 27 | 2,5 | 40 |
| T4 | 6 | 10 | 3,5 | 21 |
| T5 | 6 | 10 | 4,5 | 27 |
| Total | 60 | 100 | 13,5 | 136 |

| Surface totale de planchers disponibles [m ²] | Surface moyenne des logements [m ²] | Surface pour les parking vélo | Surface de jardin privé (10 m ² /hab) | Surface totale |
|---|---|-------------------------------|--|----------------|
| | 40 | 24 | 240 | |
| | 50 | 24 | 240 | |
| | 60 | 24 | 400 | |
| | 70 | 9 | 210 | |
| | 80 | 9 | 270 | |
| 4760 | 3300 | 90 | 1360 | 4750 |

Programme souhaité.

Iconographie réalisée par l'auteur.

1.8 La densité comme objectif

Dans un objectif de frugalité, nous nous efforcerons ici de trouver la manière dont il est possible de développer la densité au sein du site et les avantages que cela procurerait dans l'idéal

Comme nous avons pu le voir, la densité urbaine du quartier s'élève à une moyenne de 30 à 50 Hab/Ha. En prenant en compte uniquement l'îlot, sa densité s'élève à 39 Hab/ Ha pour une surface 2,24 Ha, soit 88 habitants. Cette faible densité s'explique par les usines qui occupent une place importante dans la superficie totale de l'îlot.

En se basant sur une densité de 100 Hab/ha afin d'être dans l'objectif d'une ville frugale, cela permet d'y avoir un gain de population de 136 habitants. Si l'on se réfère aux statistiques de l'IWEPS démontrant qu'en 2022 un logement en Wallonie accueille en moyenne 2,2 ménages¹, alors la densification de ce quartier revient à la création d'environ **60 logements supplémentaires**.

La surface totale disponible sur le site est de 4760 m². En tenant compte du nombre de ménages par habitant, la création de 60 logements permet d'allouer 80 m² à chaque habitation respectivement. Cela représente un total de population de **136 habitants** pour une surface de 3300 m².

Comme nous avons pu le constater, la ville de Tournai est capable de supporter la mobilité douce pour l'ensemble de ses services. Partant du principe de la ville du quart d'heure, le projet doit par conséquent être capable d'accueillir le vélo comme mode de déplacement quotidien à compter d'un vélo par habitant. La surface minimum pour un local vélo se situe à environ 1,5 m² par logements, en conséquence, le stationnement cyclable aura une emprise de 90 m² sur le site. De même pour les jardins communs (hors cœur d'îlot), à compter de 10m² par habitant, son emprise sera de 1360 m².

¹ IWEPS, *Nombre et taille des ménages, 2023*, <https://www.iweps.be/indicateur-statistique/nombre-et-taille-des-menages/>. Consulté le 16/05/2023

2.1 Soustraire pour révéler

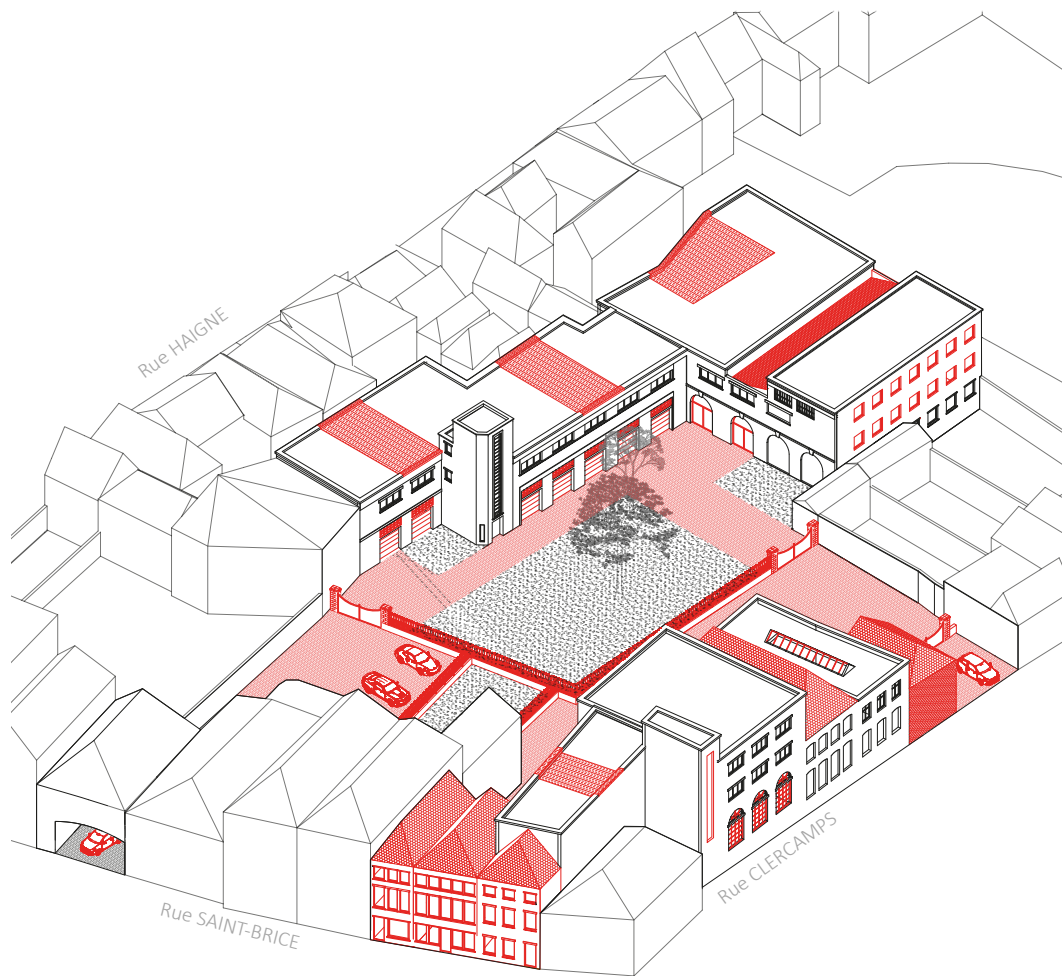
A travers cette prochaine partie, nous chercherons à amorcer les différents concepts pouvant être mis en œuvre au sein du site afin de le restructurer de manière frugale.

Dans un premier temps, nous pouvons évoquer la notion de **soustraction**. Il s'agit d'une action à trois enjeux tendant à trouver une première réponse à la reconversion du site : la transformation, l'inspection de l'état sanitaire et la création du cœur d'îlot.

Le premier enjeu concerne la capacité du site à pouvoir recevoir une **transformation de ses volumes** afin de changer sa fonction initiale. La morphologie industrielle du site est composée de plateaux continus rythmés par une structure poteaux-poutres en béton. La soustraction a pour effet ici d'enlever verticalement la matière pour révéler de nouveaux espaces. En outre, la déconstruction au niveau des dalles béton du rez-de-chaussée, du 1^{er} étage et de la toiture permet d'apporter de la lumière naturelle au cœur des édifices. Cette déconstruction est régie selon la trame structurelle existante des bâtiments garantissant ainsi sa stabilité.

Le deuxième enjeu concerne **l'état sanitaire** de certains bâtiments pour lesquels la majorité des enveloppes et des volumes peuvent être réutilisés. Néanmoins, certains édifices sont laissés en l'état depuis les années 2000. C'est le cas des maisons en front à rue où l'eau s'est infiltrée, dégradant ainsi toute la structure intérieure. Même avec une réhabilitation lourde, leur réutilisation est extrêmement compliquée. Ceux-ci sont alors soigneusement déconstruits permettant alors de récupérer les matériaux encore en bon état.

Le troisième enjeu concerne la **création du cœur d'îlot** en le faisant basculer du privé au commun. Aujourd'hui inaccessible et coupé de la ville, il est compartimenté de l'intérieur par des limites privatives. Le démantèlement de ces limites tend à rendre l'îlot accessible pour le quartier. Actuellement, la majeure partie de l'îlot est imperméabilisée par des pavés et du bitume pour y stationner des voitures. Leur suppression permet alors de créer un espace végétalisé dans le cœur d'îlot en accord avec l'un des engagements développés au sein du mouvement de la frugalité.

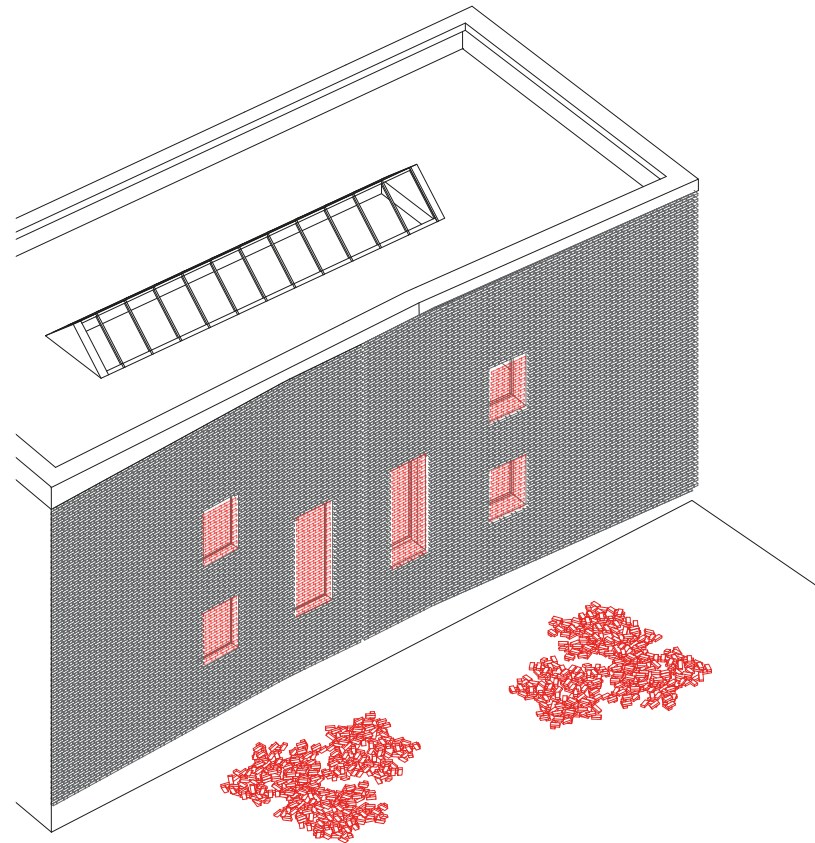


Axonométrie du site, soustraire pour révéler.

Iconographie réalisée par l'auteur.

Les éléments déconstruits sont en rouge.

2.2 La frugalité en matière



La déconstruction de l'existant.

Iconographie réalisée par l'auteur.

Nous venons de voir que cette restructuration peut passer par la soustraction de la matière. Il serait alors intéressant de se demander si celle-ci ne peut pas être réutilisée.

En effet, les déconstructions ponctuelles engendrent une quantité importante de matériaux dont **la brique** fait principalement partie. Celle-ci, soigneusement déconstruite, est à nouveau réutilisable. La frugalité, au-delà de promouvoir les matériaux biosourcés et géosourcés, invite également à tirer partie du déjà-là comme les **matériaux de réemploi**.

Le nombre de briques issues de la déconstruction du site équivaut à environ 342,5 m³¹. Selon le groupe Rotor², leur taux de récupération se situe entre 50 à 70%³. En effet, un bon nombre de briques se cassent lors du démontage et lors de la phase de nettoyage, ce qui les rend inutilisables. Si l'on se base donc sur un taux de récupération de 60%, ce n'est pas moins de 165 000 briques, soit 189,75 m³ qui peuvent être remployées et injectées de nouveau dans le projet.

La gestion de la déconstruction est un facteur à prendre en compte car il peut permettre d'être autonome dans certains matériaux et de ne pas dépendre des industries. Outre l'autonomie, les briques de réemploi sont un avantage pour le coût. Là où le prix moyen d'une brique est d'environ 60cts, une brique issue du réemploi oscille entre 30 et 60 cts. Dans le cas où celles-ci sont prélevées sur place, leur coût implique uniquement la main d'œuvre pour la déconstruction.

Selon la base de données environnementale de l'INIES, sur le total du cycle de vie estimé à 100 ans, la brique a pour empreinte carbone 326,8 kg de CO₂ par m³⁴. Ce gain d'énergie grise par le réemploi de matériaux évite toute émission liée à sa fabrication et à son usage. Ici, les briques issues de la déconstruction du site permettent d'être totalement autonome dans ce matériau. Le gain carbone est de **62 tonnes de CO₂** à contrario de celui fabriqué pour le chantier.

A travers cette réutilisation des briques, un choix écologique a été effectué. L'empreinte carbone est alors diminuée, en comparaison à un logement neuf.

1 Voir calcul annexe 4

2 Groupe de recherche et de conception qui investigate l'organisation de l'environnement matériel.

3 FCRBE, Partenariat Interreg, *Brique pleine en terre cuite*, 2021.4 Basé en intégrant sa production, son acheminement, son processus de construction et sa durée de vie : <https://www.base-inies.fr/iniesV4/dist/consultation.html>

2.3 La réutilisation de la matière

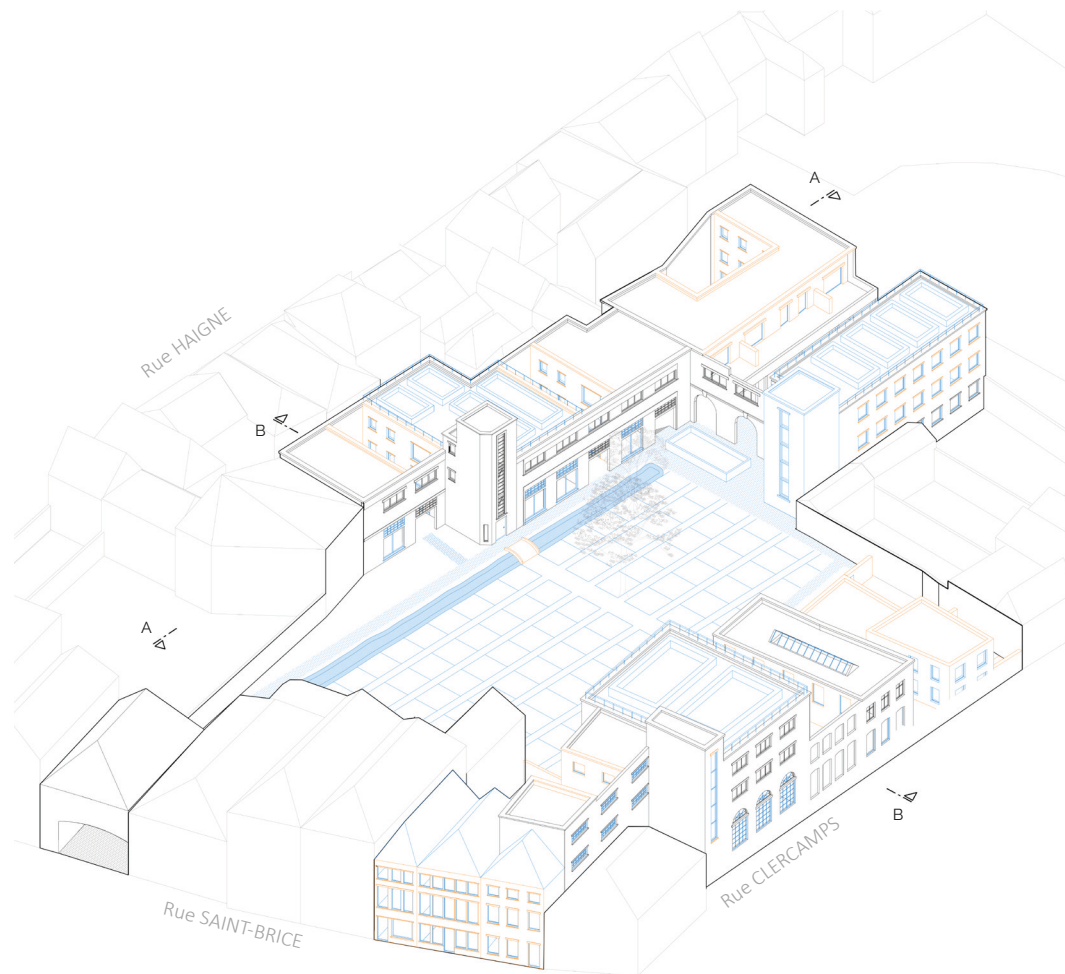
En complément de la première action qui était de soustraire la matière, il est question ici d'en **ajouter** pour générer les espaces. Les briques issues de la déconstruction vont permettre de réhabiliter le site à sa plus grande échelle. Ceci permet de garder une homogénéité tout en diminuant les dépenses énergétiques et économiques liées à la non-utilisation de nouveaux matériaux.

Cette restructuration vise tout d'abord à venir cloisonner les espaces préalablement ouverts issus de la soustraction. Cela permet de venir créer de nouveaux volumes au sein même des plateaux dont l'échelle se rapproche de celle de l'habitat.

La brique est également utilisée pour venir restructurer les trois maisons situées rue St-Brice. La reconstruction de celles-ci s'appuie sur le tissu urbain existant en gardant la même morphologie que l'édifice d'origine. Pour cette reconstruction, le besoin en brique est de 56 m³. Un nouveau bâtiment est également construit au niveau de l'entrée rue Clercamps permettant de la restructurer et d'arriver directement en cœur de l'îlot. Pour cet édifice, le besoin en brique s'élève à 30 m³.

Ce dernier est également repensé dans son parcours, les pavés issus de la déconstruction sont en partie réemployés pour créer les nouveaux cheminements, générant ainsi une large surface maraîchère au centre, commune aux habitants. Le nombre de pavés récupérés s'élève à 80 m³. Le besoin dans la restructuration des cheminements s'élève à 26 m³, le reste est donné à la matériauthèque de Tournai¹.

¹ Entreprise d'économie circulaire spécialisée dans la récupération et la vente de matériaux de construction.



Axonométrie du site, réutilisation de la matière.

Iconographie réalisée par l'auteur.

Les éléments neufs ajoutés sont en bleu.

Les éléments ajoutés issus de la déconstruction du site sont en orange.

La soustraction ponctuelle dans les bâtiments permet de générer des espaces ouverts, prenant la fonction de **jardin**. À la fois espaces privés et communs, le projet tend à offrir aux occupants une qualité de vie assimilable à ce que l'on trouve en périphérie pour les maisons unifamiliales. Il s'agit d'un des engagements frugaux que nous avons évoqués précédemment.

À la suite de la transformation des bâtiments au cours du temps, la circulation verticale permettant l'accès aux niveaux supérieurs est manquante dans certains édifices. Une nouvelle circulation est alors implantée pour desservir les bâtiments, entrant en écho avec celle existante.



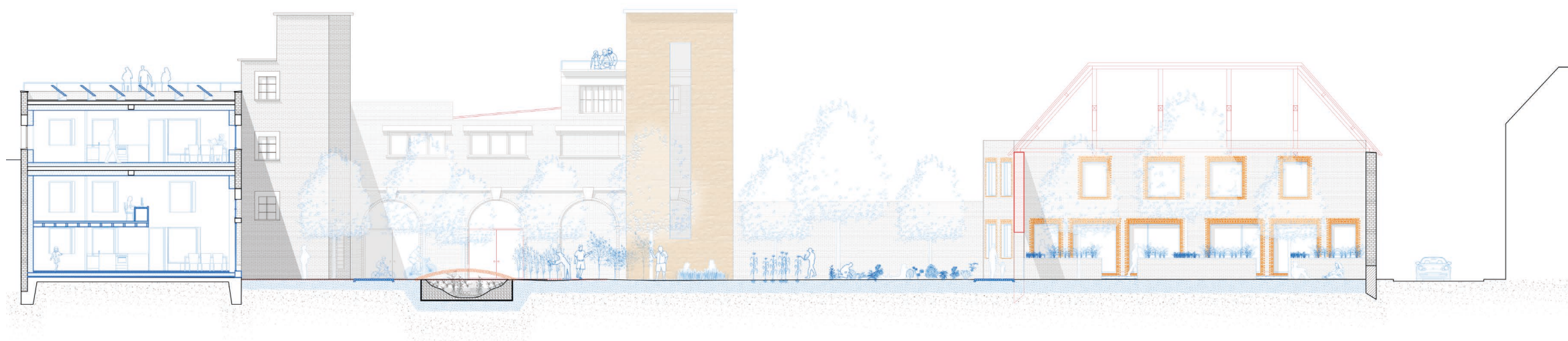
Coupe AA - une alternance de plein et de vide.

Iconographie réalisée par l'auteur.

Celle-ci se démarque par sa matérialité utilisée qui est la **terre pisée**, un matériau géosourcé. Nous avons vu d'ailleurs que l'utilisation de matériaux géosourcés était en lien avec l'engagement frugal concernant la réalisation de travaux à l'aide de ce type de matériaux. En effet, étant issus du vivant, ils permettent de construire tout en réduisant l'impact carbone.

Enfin, l'ensemble de ces circulations permettent l'accès aux toitures existantes, investies au travers d'espaces maraîchers partagés communs aux habitants.

De nouveau, nous retrouvons l'un des engagements décrit dans le mouvement de la frugalité à travers cette création **d'espaces partagés**. L'implication citoyenne se retrouve ainsi renforcée : les habitants peuvent désormais avoir un rôle central au sein de la vie urbaine.



Coupe BB- Un coeur d'îlot habité.

Iconographie réalisée par l'auteur.

5

2.4 Une revanche de la biodiversité

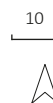


Surface **perméable** : 530m²
 Surface **imperméable** : 1994 m²
 Surface **bâtie** : 2263 m²
 Surface **totale** : 4787 m²
 Coefficient de **biodiversité** : 0.1
 Coefficient **ICU** : 0.68

Surface **perméable** : 2310 m²
 Surface **imperméable** : 663m²
 Surface **bâtie** : 1814 m²
 Surface **totale** : 4787 m²
 Coefficient de **biodiversité** : 0.71
 Coefficient **ICU** : 0.25

La transformation du site : la végétalisation comme solution.

Iconographie réalisée par l'auteur.



Nous venons de voir la création d'espaces ouverts à travers la réutilisation de l'existant permettant ainsi la création de jardins ou encore de surfaces maraîchères. Nous pourrions alors préciser quels impacts cela pourrait avoir sur la biodiversité.

La déconstruction des surfaces artificialisées en vue de transformer le cœur d'îlot en un espace entièrement végétalisé comporte trois enjeux : la qualité de vie urbaine, la biodiversité et l'effet d'îlot de chaleur urbain.

Tout d'abord, amener la nature en cœur urbain permet d'améliorer considérablement **la qualité de vie** des citadins. La végétalisation de cet espace permettra ainsi de passer d'une surface de 530 m² à plus de 2000 m². En outre, il est transformé en espace productif et générateur de lien social par l'intermédiaire d'une zone maraîchère commune aux habitants. On retrouve cette volonté de rassembler les citoyens dans l'engagement frugal qui vise à renforcer l'implication citoyenne vers des projets collaboratifs.

C'est à l'aide de l'implantation de ces espaces que nous arriverons à réimplanter la biodiversité en ville comme nous avons pu le voir avec **le coefficient de biodiversité**. Actuellement, dans l'îlot, celui-ci est extrêmement faible, de 0.1. Par le biais de sa végétalisation, celui-ci atteindra la valeur de 0.71, ce qui est bien au-delà des 0.45 imposés par les préconisations de Berlin¹.

Il en va de même pour **le coefficient d'îlot de chaleur urbain (ICU)**², actuellement très élevé atteignant une valeur de 0.68. Cela signifie que les surfaces minérales telles que les pavés et le bitume absorbent la chaleur, augmentant la température environnante. Pour inverser cette tendance, il est nécessaire de végétaliser les espaces urbains. Cette mesure permettra de réduire considérablement le microclimat, voire de l'inverser. Il sera alors possible de faire passer ce coefficient à 0.25 permettant de diminuer l'accumulation de chaleur et par conséquent, de diminuer l'augmentation de la température.

A travers l'utilisation des deux facteurs que sont le coefficient de biodiversité et l'effet d'îlot de chaleur urbain, la reconversion du site participe de nouveau à l'implication frugale : les sols sont renaturalisés.

¹ Bruxelles environnement, *Maximiser la biodiversité*, 2010, p.2

² Calcul Coefficient de biodiversité et ICU annexe 8.

2.5 Une autonomie

1 Voir le scénario n°4, *La sécession, de nouvelles formes de communes plus autonomes s'affranchissent de l'orbite des métropoles*. p.86

2 Jean Haëntjens, *La ville frugale*, l'écopoche, 2021, p.6

3 Calcul de l'autonomie, voir annexe 5

4 Hello Watt, *Quelle est la consommation électrique par jour ?*, <https://www.hellowatt.fr/suivi-consommation-energie/consommation-electrique/consommation-electrique-par-jour>. Consulté le 16/05/2023

5 Pour plus de renseignements sur les déchets du nucléaire, consulter : <https://www.greenpeace.fr/nucleaire-solution-climat/> Consulté le 29/05/2023

De par sa morphologie, le site permet d'avoir une certaine forme d'autonomie dans le domaine de **l'eau**, de **l'énergie** et de **la nourriture**. Ici, il n'est pas question de tendre vers une autonomie complète. Nous ne cherchons pas à développer le scénario de sécession¹ que l'on a pu voir avec S. Marot : l'autosuffisance avec l'affranchissement des villes n'est pas intéressant dans notre cas.

Le but recherché est avant tout d'utiliser au mieux ce qui est disponible, en profitant de ce qui est « gratuit » tel que l'eau, le soleil, la terre avant de consommer de nouvelles ressources. Ainsi, nous suivons l'un des fondements même de la frugalité : « *offrir plus de satisfactions à ses habitants en consommant moins de ressources* ».²

Afin de récupérer **l'énergie solaire**, les toitures non habitées sont pourvues de panneaux photovoltaïques permettant aux habitants d'être partiellement autonomes en énergie électrique. Avec plus de 600 m² de panneaux disséminés sur les toitures, c'est plus de 133 980 Kwh³ produits chaque année. Ce chiffre, rapporté aux 80 habitants, représente 4,7 Kwh par jour et par personne, là où en moyenne un ménage consomme 6 kwh/jour d'énergie électrique⁴. Les panneaux solaires apparaissent comme une solution pour faire baisser la consommation en énergie provenant des centrales nucléaires extrêmement polluante. Les panneaux solaires apparaissent comme une solution pour faire baisser la consommation en énergie provenant des centrales nucléaires extrêmement polluantes puisqu'elle génèrent des déchets radioactifs, thermique et chimique.⁵

Outre le fait de récupérer l'énergie solaire, la superficie importante disponible en toiture permet également **la récupération des eaux de pluie**. En une année, elles sont capables de récupérer plus de 744 m³ d'eau, ce qui équivaut à environ 26 litres par personne et par jour⁶ pour l'ensemble des habitants. Une personne consomme environ 50 litres d'eau non potable par jour⁷ : par la récupération d'eau de pluie, les habitants pourraient être en partie autonomes. De plus, 15% de l'eau récupérée est redistribuée vers un bassin de rétention d'eau permettant à celui-ci d'être rempli tout au long de l'année. Situé dans le cœur d'îlot, il permet de subvenir aux besoins hydriques de l'espace maraîcher.

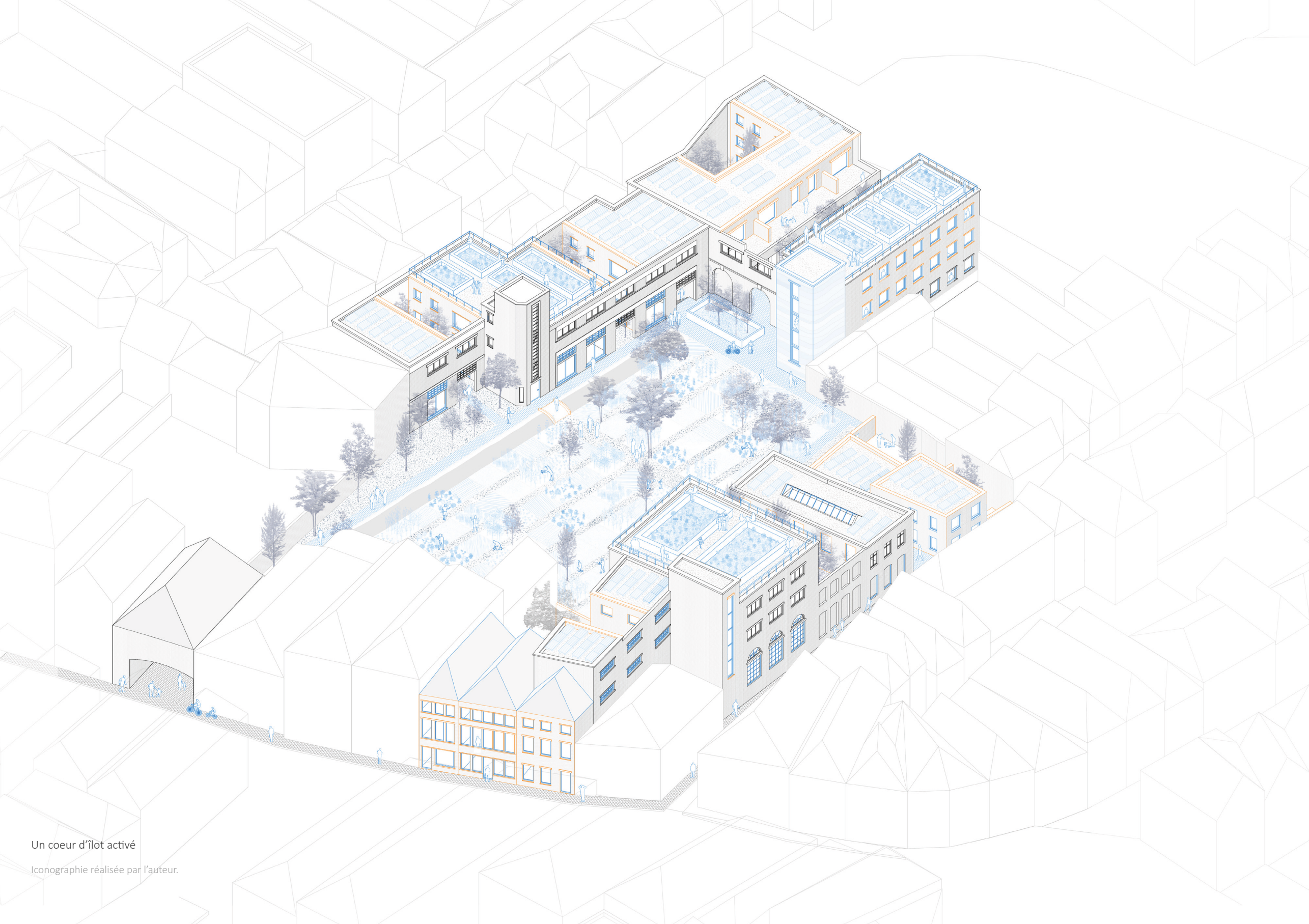
Tout comme la recherche d'une autonomie partielle en eau et en énergie, **l'autoproduction alimentaire** apparaît comme une solution d'occupation productive des sols. Chaque habitant possède 25 m² de surface productive, loin des 60 m² permettant d'être totalement autonome pour un régime végétarien⁸. L'autonomie n'étant pas le but recherché ici, cette surface est suffisante pour être une amorce à un nouveau mode de vie dans le but de reconnecter le milieu urbain à la nature. Outre le côté nourricier, cet espace maraîcher apparaît avant tout comme un lieu générateur de lien social centré autour de la terre.

Ainsi, par le développement de cette forme d'autonomie, le site est en pleine transition écologique, ce qui est de nouveau en lien avec l'un des engagements frugaux développés précédemment.

6 Calcul de l'autonomie, voir annexe 5

7 Le centre d'information sur l'eau, *Quelle est la consommation d'eau moyenne par ménage ?* <https://www.cieau.com/le-metier-de-leau/ressource-en-eau-eau-potable-eaux-usees/quels-sont-les-usages-domestiques-de-leau/>. Consulté le 16/05/2023

8 Hubert Fontaine, *Tout en un, Le potager, c'est facile !* Rustica, 2005.



Un coeur d'îlot actif

Iconographie réalisée par l'auteur.

3.1 Organisation typologique du site

Pour rappel, la densité urbaine du quartier se situe entre **30 et 50 [Hab/Ha]**. De par l'emprise du site, la réelle densité de population au niveau de l'îlot est plutôt de 39 [Hab/Ha]. Ici, l'objectif de densification est d'atteindre celle de la ville frugale.

Dans l'objectif d'amener le site au sein d'une densité moyenne de 100 Hab/Ha, il serait intéressant de se demander la quantité réaliste de logements qui peuvent être réalisés au sein du site. Nous avons estimé idéalement la création de 60 logements pouvant contenir 136 personnes.

Cependant, à la différence des projets neufs respectant un quota au niveau des différentes typologies, ici la conception de logements est fortement induite par le volume capable des bâtiments existants. Les tailles des logements s'adaptent en conséquence à la morphologie existante en proposant néanmoins une diversité d'options. Le site permet donc d'accueillir au total **45 logements** pour une population de **94 habitants**, soit en moyenne 2,1 personnes par logement, proche des statistiques de l'IWEPS de 2,2 ménages par foyers.

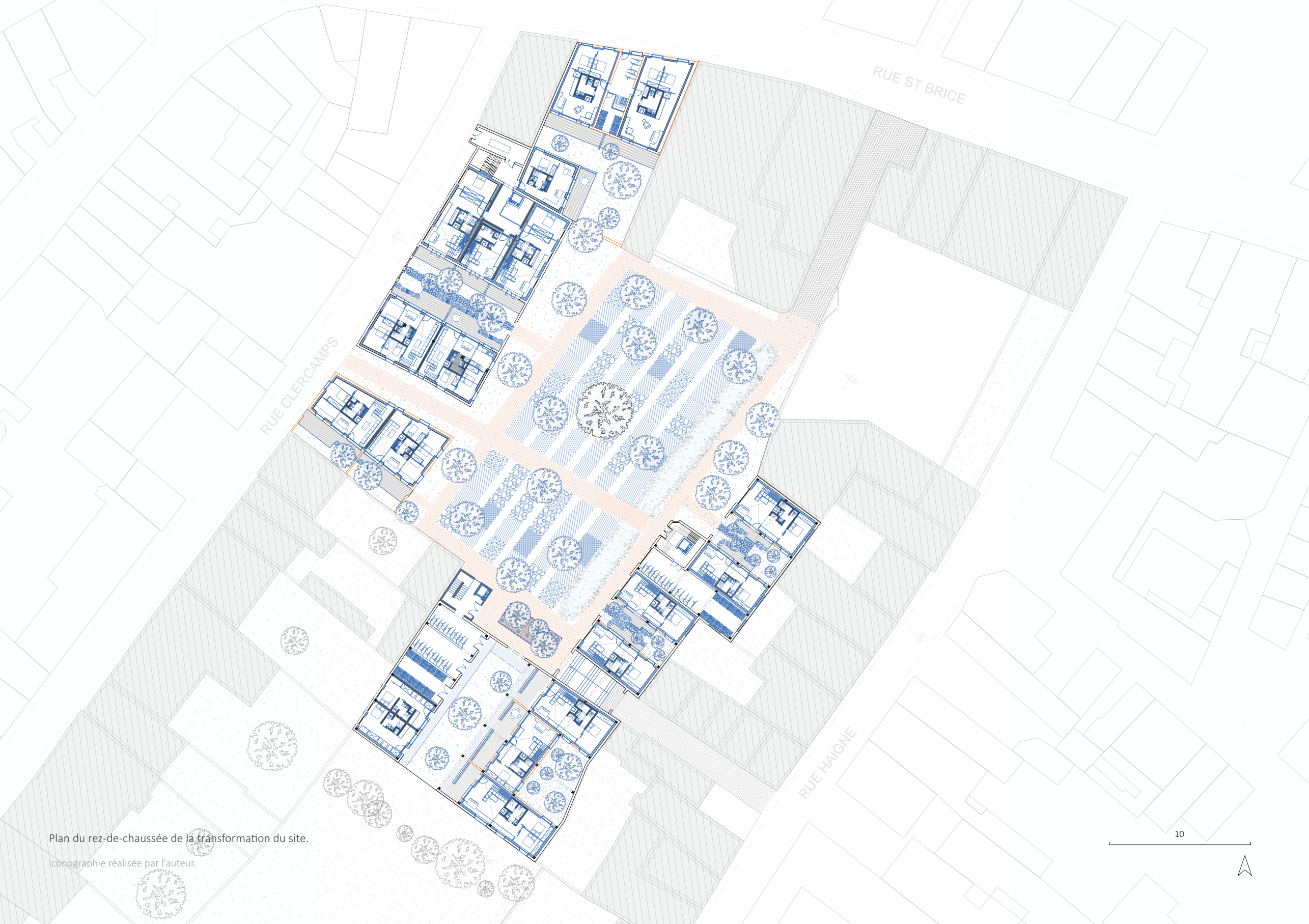
Dans l'optique d'une démarche frugale, nous avons pu voir que la ville de Tournai était propice à la mobilité douce. La volonté de repousser les véhicules thermiques apparaît donc comme une évidence. Ici, les seuls stationnements prévus concernent les vélos répartis dans chaque bâtiment. Il en va de même pour le stockage concernant les outils et réserves du potager, inclus dans les espaces communs des bâtiments.

| | Nombre de typologie | % | Nombre de personnes par typologie | Population totale |
|-------|---------------------|-------|-----------------------------------|-------------------|
| T1 | 12 | 27,27 | 1,5 | 18 |
| T2 | 13 | 29,55 | 1,5 | 19,5 |
| T3 | 15 | 34,09 | 2,5 | 37,5 |
| T4 | 1 | 2,27 | 3,5 | 3,5 |
| T5 | 3 | 6,82 | 4,5 | 13,5 |
| Total | 44 | 100 | 13,5 | 92 |

Organisation typologique du site en conséquence des volumes présents.

Iconographie réalisée par l'auteur.

Donnée source : <https://wallex.wallonie.be/de/contents/acts/5/5306/1.html>, Consulté le 16/05/2023



Plan du rez-de-chaussée de la transformation du site.

Iconographie réalisée par l'auteur.

10





Photographie de maquette - Un îlot révélé.

3.2 Un noyau aux multiples fonctionnalités

Au sein de chaque habitat, un élément central, appelé noyau, est mis en place. Il présente trois fonctionnalités : centraliser les techniques, porter et générer de la spatialité.

Tout d'abord, ce noyau est composé de divers éléments centralisés et pourvoyeur de techniques :

- **poêle de masse** : intégré au sein de la terre pisée qui génère de l'inertie thermique, il chauffe intégralement le logement. Le mode de combustion utilisé est le bois de peuplier : son stockage dans les parties communes et l'habitat permet une autonomie de 2 mois.¹

¹ Voir calcul de l'autonomie en bois annexe 6

- **ballon d'eau chaude sanitaire** : chauffée par les fumées issues de la combustion du poêle de masse à proximité. Le ballon ECS est également raccordé à un système électrique permettant de le chauffer en cas de non-utilisation du poêle de masse.

- **ventilation**

- **descente d'eau**

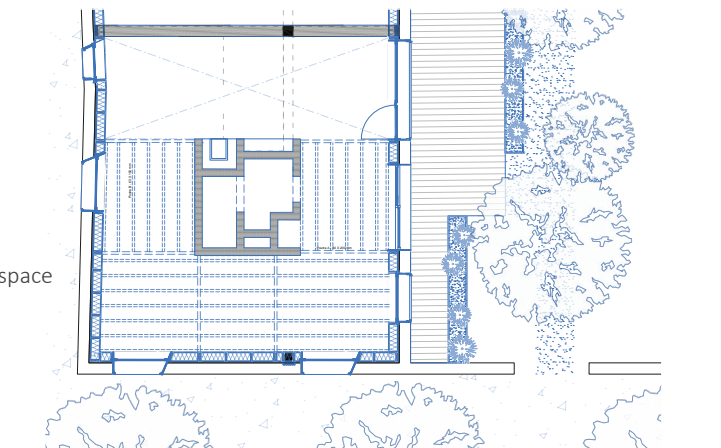
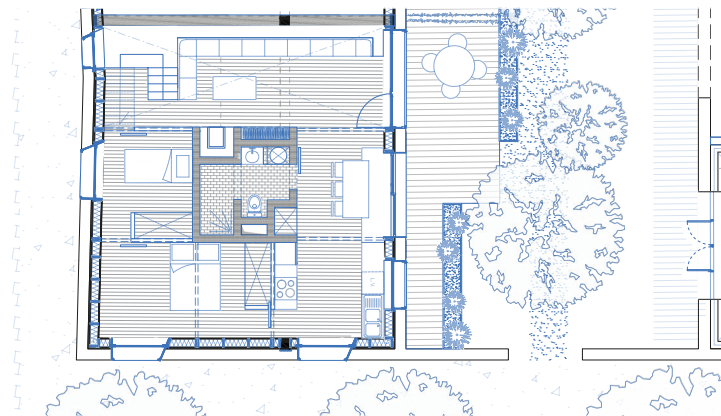
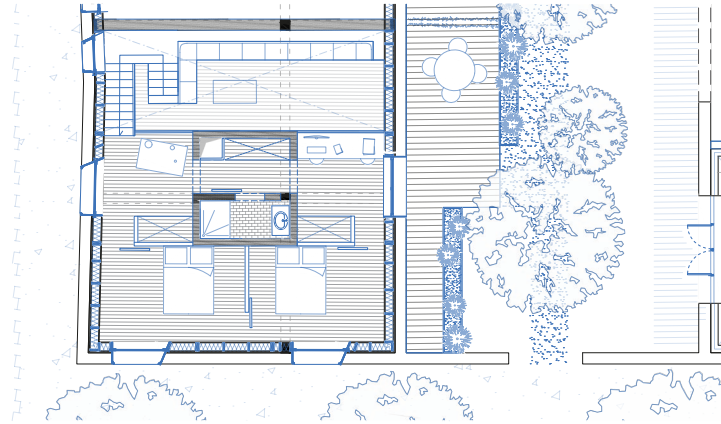
Ensuite, nous pouvons dire que ce noyau est porteur. Il a pour but de venir supporter la structure interne au logement. De plus, dans une logique d'économie de matière, il permet de réduire les portées et donc les sections de bois utilisées plutôt que d'avoir une seule poutre de mur à mur. En effet, la portée initiale de 7,6m aurait nécessité une poutre de 80x400mm alors qu'en la réduisant, ce sont plutôt des poutres de 38x175mm qui sont utilisées. Ainsi, le gain de matière pour un logement reste faible à hauteur de 0,8 m³ mais bien plus intéressant à l'échelle du site, avec un gain global de 32 m³.²

² Voir calcul annexe 7



Axonométrie d'un logement type, un noyau comme structure spatiale

Iconographie réalisée par l'auteur.



Un noyau comme générateur d'espace

Iconographie réalisée par l'auteur.

5



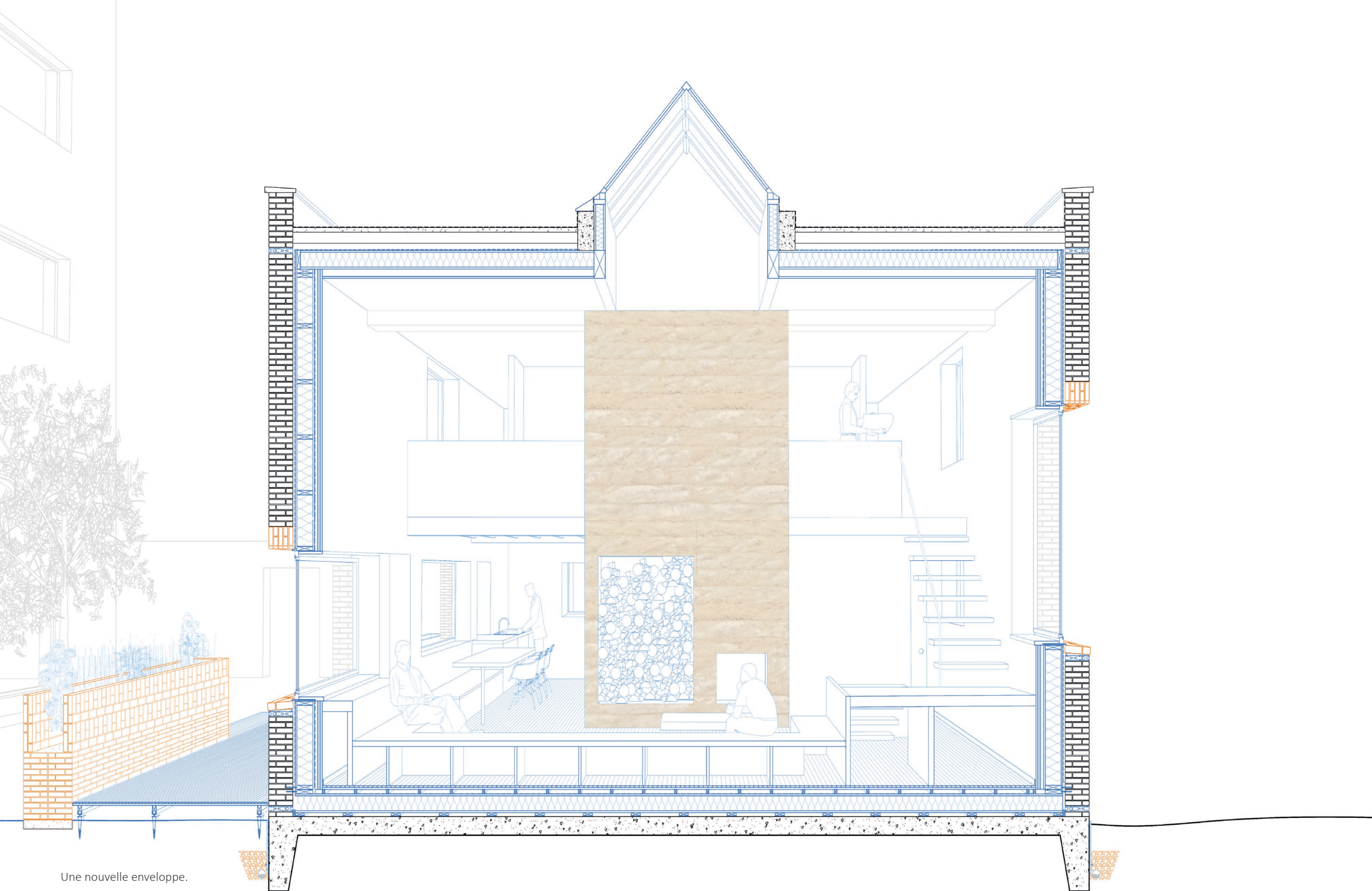
La dernière fonctionnalité de ce noyau est de générer la spatialité. En effet, en plaçant ces différents éléments au centre du logement, ce sont de multiples possibilités d'agencements du lieu de vie qui s'offrent aux habitants. Cette disposition entre alors dans une logique frugale puisque

« **Le durable c'est le transformable** ». ¹.

Enfin, à l'échelle de l'habitat, la notion d'économie de matière et d'énergie est donc extrêmement présente. Le site s'implique bien dans la frugalité par l'utilisation de matériaux géosourcés (terre pisée et bois de peuplier) ainsi que locaux, puisqu'ils proviennent d'un rayon de **30km** autour de la ville de Tournai. D'un côté le bois de peuplier pousse abondamment dans les régions du Nord et Pas de Calais. De l'autre, la terre pisée est extraite des carrières tournaisiennes dont le sol est limoneux-argileux.

¹ Voir calcul annexe 7

² Francis Rambert, Martine Colombet, Christine Carboni, *Un bâtiment, combien de vie ?* Silvana Editoriale, 2014.



Une nouvelle enveloppe.

Iconographie réalisée par l'auteur.

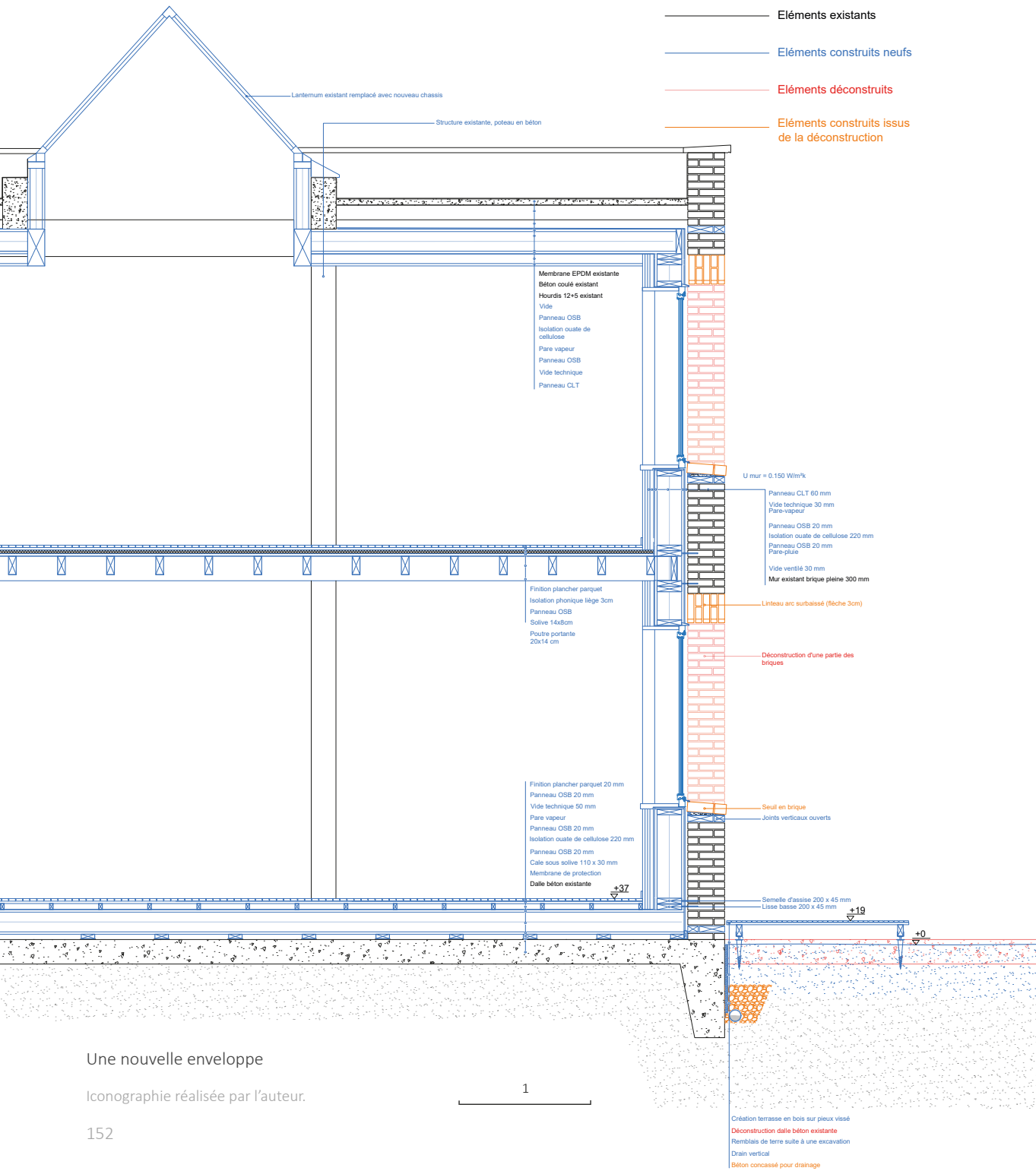
3.3 Une nouvelle enveloppe

Nous venons de traiter de l'agencement intérieur de l'habitat, à travers l'utilisation du concept de frugalité. Nous chercherons à travers cette prochaine partie à démontrer que ce concept peut être intégré à la mise en œuvre technique d'un bâtiment.

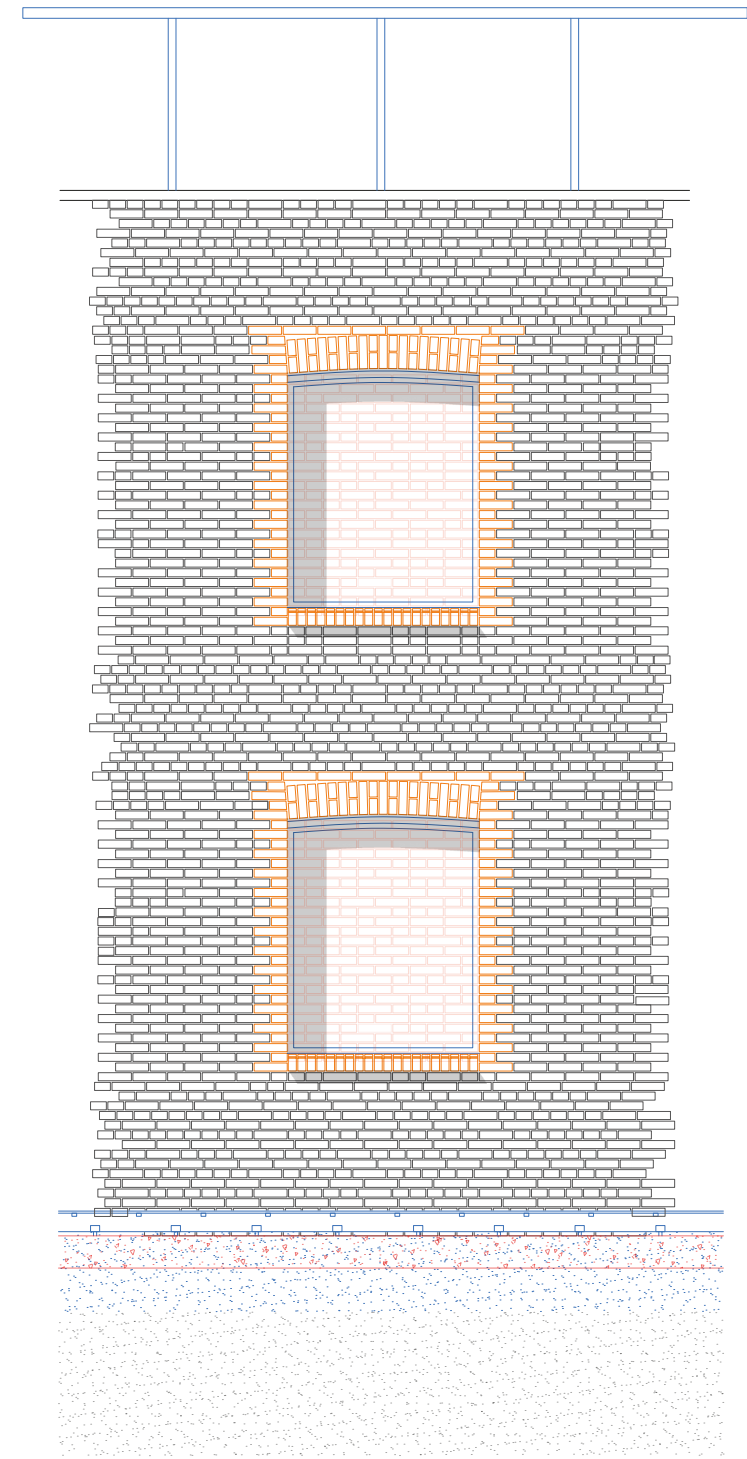
Initialement, le bâtiment n'est pas habitable : seul un mur de brique de 30cm d'épaisseur compose les parois. Il convient alors de déconstruire certaines de ses parties afin de le rendre ouvert sur l'extérieur.

Tout d'abord, la **déconstruction** de la charpente et de la dalle béton du sol, complétée par un remblai de terre permet de transformer l'espace en jardin. Pour faire pénétrer la lumière dans le bâtiment, une déconstruction partielle du mur aveugle est nécessaire. Des ouvertures sont alors soigneusement déconstruites dans le mur permettant de générer des baies. Celles-ci sont alors reconstruites à l'aide des **briques de réemploi** pour créer le linteau, le seuil et les joues des baies. Dans une logique frugale, le linteau n'est pas composé en béton : il est fait de briques en arc surbaissé avec une flèche d'une hauteur de 3cm. Il en va de même pour le seuil composé de briques, avec les matériaux récupérés.

Concernant l'intérieur du bâtiment, pour le rendre habitable, il faut y intégrer une **nouvelle enveloppe**. Celle-ci est composée d'une ossature en bois de peuplier, complétée d'une isolation en ouate de cellulose. Cette isolation biosourcée garantit un bon confort thermique et répond aux exigences d'un bâtiment passif dont la résistance thermique est inférieure à 0,15.



Une nouvelle enveloppe
Iconographie réalisée par l'auteur.





Photographie de maquette - Un îlot révélé.

1.200

En somme, le projet vise à diminuer au maximum l'empreinte carbone des bâtiments, de leur conception jusqu'à leur usage selon deux facteurs principaux. D'une part dans la diminution de **consommation en ressources**, la réutilisation des édifices existants participe à l'économie de matière. Il en va de même pour l'usage des matériaux de réemploi qui permettent d'être autonome et de se passer des industries.

D'autre part, la diminution des **émissions** liées au bâtiment se fait par l'usage des matériaux bio et géo-sourcés ainsi que de nouvelles alternatives aux modes de vies. Un calcul global de l'empreinte carbone d'un logement type de projet permet de situer celui-ci par rapport aux autres modes de construction¹. De ce fait, la frugalité apparaît comme une alternative efficace pour réduire considérablement l'empreinte carbone du secteur du bâtiment.

¹ Voir annexe 9



Le thème de ce mémoire se concentre sur la problématique suivante : « En quoi la réhabilitation en centre urbain permet-elle d'atteindre la frugalité ? ».

Cette question a émergé à la suite d'un constat personnel : les campagnes s'urbanisent, les villes ne cessent de s'étaler, paradoxalement aux centres urbains qui se désertifient de leur population. Cela a été particulièrement flagrant lorsque j'ai découvert la ville de Tournai, où j'y ai observé un grand nombre de bâtiments abandonnés. Une autre question m'est alors venue à l'esprit : « Pourquoi poursuivre la construction et l'extension des zones urbaines alors que, simultanément des bâtiments demeurent inoccupés ? »

Au fil des siècles, l'architecture a connu de nombreuses évolutions et nous sommes aujourd'hui confrontés à un nouveau tournant. Les problèmes liés au climat et la prise de conscience de l'épuisement des ressources naturelles de notre planète remettent en question nos pratiques de consommation et de construction. Étant donné que le secteur du bâtiment est responsable de 37% des émissions de CO₂, les architectes et autres professionnels impliqués dans les projets jouent un rôle crucial dans la transition vers une architecture plus durable pour l'environnement. Cela a dirigé ma réflexion vers la notion de frugalité en architecture.

Au fur et à mesure de mes recherches, j'ai réalisé que la frugalité ne se limitait pas à la simple approche énergétique du bâtiment. Elle englobe un champ d'exploration beaucoup plus large qui vise à se libérer du consumérisme contemporain. Travailler avec ce qui existe déjà, en particulier en milieu urbain, permet d'aborder la frugalité de manière multiscalair, allant de l'échelle territoriale à celle des matériaux mis en œuvre. Ainsi, ce concept de frugalité m'a permis d'aborder le projet sous de nouvelles perspectives, à travers la proximité urbaine, l'architecture par soustraction et l'architecture par addition.

En premier lieu, la frugalité en centre urbain tente de redonner le sens premier au centre-ville avec **la proximité urbaine**. Nous avons constaté que l'étalement urbain entraîne une dépendance à la mobilité individuelle polluante ainsi que la dispersion des services dans le territoire. La notion de « centre » s'est peu à peu perdue. Reconstruire la ville sur la ville favorise la mobilité douce et rend les déplacements aux différents services urbains plus attractifs que les véhicules.

Il est donc nécessaire de ménager davantage le territoire plutôt que de l'aménager en se concentrant sur les espaces disponibles des tissus urbanisés.

En second lieu, la frugalité s'applique à l'échelle de l'édifice et en particulier sur les friches urbaines. **L'architecture par soustraction** est une nouvelle alternative à la réponse systématique de la démolition/reconstruction. La réutilisation des tissus urbains bâtis non utilisés apparaît comme une évidence pour agir au cœur même des villes. La transformation de ces édifices devient alors un acte de création où l'espace est généré en enlevant de la matière plutôt qu'en l'ajoutant. En outre, cette architecture par soustraction ne permet pas uniquement la réutilisation du bâti : elle génère également de la matière par sa déconstruction. De nouvelles questions émergent alors en amont de tout projet de réhabilitation : que doit-on garder, récupérer ou jeter ?

En troisième lieu, nous pouvons parler de **l'architecture par addition**. Il s'agit de l'étape suivante de l'architecture par soustraction. Cette seconde phase vise à transformer l'édifice pour le rendre habitable. Dans la continuité d'une démarche frugale, celle-ci doit s'effectuer en privilégiant l'utilisation de matériaux biosourcés, géosourcés ou encore issus du réemploi. Le béton serait alors à proscrire ; néanmoins, il est encore bien trop utilisé dans le secteur de la construction, de par son attractivité économique.

Penser global, agir local, voici ce que ce travail m'a permis d'explorer à travers la frugalité. Pleinement conscient de la responsabilité de mon secteur dans son empreinte carbone, c'est durant la conception du projet que j'ai pu poser un nouveau regard sur ma façon de concevoir et de réfléchir.

Ici, contrairement à ce qui m'a été enseigné lors de mes cinq années d'études, l'approche consiste à commencer par enlever de la matière plutôt que d'en ajouter dès les premières réflexions. C'est seulement à partir de cette matière générée par la déconstruction que l'on va pouvoir par la suite composer et transformer ces édifices.

Avec cette évolution de la pratique architecturale, une question légitime se pose : « Est-il encore nécessaire de construire ? » Bien qu'il y ait aujourd'hui une crise du logement conduisant à la construction massive de projets immobiliers, faire de l'habitat n'induit pas forcément construire des logements neufs.

Nous, jeunes architectes, avons un défi majeur à relever : construire ou plutôt reconstruire le monde de demain à travers l'utilisation de l'existant. Il s'agit de prendre en compte le bâti actuel, le tissu urbain et sa matière déjà présente afin de proposer de nouvelles alternatives à la construction de programmes immobiliers d'expansion, à la dépendance aux matériaux énergivores (acier, béton) ainsi qu'à la destruction systématique des bâtiments laissés en friches. Trouver un lien entre la déconstruction et la reconstruction permettrait alors d'aborder les aspects économique, écologique et durable des constructions de demain.

Néanmoins, en réalisant ce projet au sein d'une typologie industrielle, il est nécessaire de prendre conscience que cette notion de frugalité n'est pas aisément applicable à tout contexte environnemental et à tout bâti. Dès lors, il appartient de se poser la question suivante : Comment peut-on intégrer la notion de frugalité dans tous les projets ?

A travers ce mémoire, j'ai pu obtenir des réponses à mon questionnement initial. Ce travail de réflexion et de recherche a permis de déterminer mes positions en tant qu'architecte. Il s'agit d'une amorce à ma manière de penser et d'agir que je souhaite continuer à explorer tout au long de ma profession et dans les aspects plus larges de ma vie.

« *Faire mieux avec moins* »¹

¹ Philippe Madec, *Mieux avec moins*, Terre Urbaine, 2021, p.184



Photographie de maquette - Un îlot révélé.

BIBLIOGRAPHIE

Patrick Bouchain, *Construire autrement, comment faire ?* Acte Sud, 2006.

C. Bonneuil, J.B Fressoz, *L'événement de l'anthropocène : La terre, l'histoire et nous* Seuil, 2013.

F. Gemenne, A. Rankovic, Atelier de cartographie de Sciences Po, *Atlas de l'Anthropocène*. Presses De Sciences Po, 2021.

Francis Rambert, Martine Colombet, Christine Carboni, *Un bâtiment, combien de vie ?* Silvana Editoriale, 2014.

Claude Franck, *Un monde d'objet*. Cosa mentale, 2012.

Jean Haëntjens, *La ville frugale*. l'écopoche, 2021.

Rem koolhaas, *Jonkspace*. Payot, 2011.

Pavillon de l'Arsenal, *Conserver, Adapter, transmettre* 2022.

Philippe Madec, *Mieux avec moins*. Terre Urbaine, 2021.

Mohsen Mostafavi, Gareth Doherty, *Ecological Urbanism*. Lars Müller, 2016.

Sébastien Munafo, *La ville compacte remise en cause* Aphil, 2016.

Pierre Merlin, Françoise Choay, *Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement*. Presses universitaires de France, 1988.

Pierre Rabhi, *Vers la sobriété Heureuse*. Babel, 2013.

Carlos Moreno, *La ville du quart d'heure*, Chaire ETI – IAE Paris Université Paris 1 Panthéon Sorbonne, 2020.

DOCUMENTAIRE

Jérôme Fritel, *Main basse sur l'eau*, 2018, par Arte.

Denis Delestrac, *Le sable enquête sur une disparition*, 2013, par Arte.

ARTICLE

Rémy Allain, *Formes urbaines et développement urbain durable* Urbia n°11, 2010.

Réseau C40, *Atlas des inégalités* Courrier international, hors série n°72, 2019.

Ministère de la transition écologique et énergétique, France, *Les matériaux de construction biosourcés & géosourcés*.

Hubert Fontaine, *Tout en un, Le potager, c'est facile !* Rustica, 2005.

164

RAPPORT

ZACC Morel, *élaboration d'un rapport urbanistique et environnemental*, 2018,

ADEME, *La construction neuve beaucoup plus consommatrice de matériaux que la rénovation*, 2019, <https://presse.ademe.fr/2019/12/etude-la-construction-neuve-beaucoup-plus-consommatrice-de-materiaux-que-la-renovation.html>. Consulté le 04/05/2023.

—, *Transition 2050, choisir maintenant, agir pour le climat*, 2021,

European Environment Agency, *Urban sprawl in Europe – the ignored challenge*, 2006,

Rapport annuel du Haut conseil pour le climat, *Renforcer l'atténuation, engager l'adaptation*, 2021,

Commission mondiale sur l'environnement et le développement de l'Organisation des Nations unies, présidé par Gro Harlem Brundtland, *Notre avenir à tous*, 1987,

Dennis Meadows, Donella Meadows et Jørgen Randers, *The limits to growth*, 1972, Le club de Rome, Fayard,

Ministère de la transition écologique, *Rapport de synthèse sur l'environnement en France*, 2019,

Bruxelles environnement, *Comment limiter les déchets de construction*,

FCRBE, Partenariat Interreg, *Brique pleine en terre cuite*, 2021,

GIEC, *Rapport du GIEC*, 2023,

J-P Lacaze, *Le paysage, la construction et la promotion : l'Etat et les friches industrielles*, 1986, DATAR (Délégation à l'aménagement du territoire et à l'action régionale),

Miller, SA, Horvath, A. & Monteiro, PJM, *Impacts de la production de béton en plein essor sur les ressources en eau dans le monde.*, 2018, Nature Sustainability, <https://doi.org/10.1038/s41893-017-0009-5>. Consulté le 22/02/2023.

ONU, *Generating power*, <https://www.un.org/en/climatechange/climate-solutions/cities-pollution>.

OXFAM, *Climat : CAC degrés de trop, le modèle insoutenable des grandes entreprises française*, 2021,

Justice & Paix, *Derrière nos écrans : les enjeux de l'exploitation minière*, 2019,

Environ. Sci. Technol., *Outside the Safe Operating Space of the Planetary Boundary for Novel Entities*, 2022, <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c04158>. Consulté le 22/04/2023.

ODT (Observatoire du Développement Territorial), *FICHE 4 : ETALEMENT URBAIN (ET PERIURBANISATION), QUELQUES MESURES*, 2020, p.1

Bruxelles environnement, *Maximiser la biodiversité*, 2010, p.2

SITOGRAFIE

ADEME, *Consommation de ressources : privilégier la rénovation plutôt que la construction neuve ?*, 2020, <https://bibliothèque.ademe.fr/urbanisme-et-batiment/157-consommation-de-ressources-privilégier-la-renovation-plutot-que-la-construction-neuve-.html>. Consulté le 22/03/2023.

—, *Génération frugale*, 2021, <https://www.ademe.fr/les-futurs-en-transition/les-scenarios/#generation-frugale>. Consulté le 12/05/2023.

—, *Reconversions des friches urbaines*, 2016, <https://expertises.ademe.fr/urbanisme-durable/urbanisme-amenagement/passer-a-l'action/reconversions-friches-urbaines>. Consulté le 22/04/2022.

European Environment Agency, *L'étalement urbain en Europe - un défi environnemental ignoré*, 2016, <https://www.eea.europa.eu/fr/pressroom/newsreleases/12019etalement-urbain-en-europe-un-defi-environnemental-ignore>. Consulté le 29/03/2023.

Olivier Cantat, *L'ilot de chaleur urbain parisien selon les types de temps*, 2004, <https://doi.org/10.4000/noroi.1373>. Consulté le 04/04/2023.

Stéphanie Carlisle, *I've been polluting the planet for years. I'm not an oil exec—I'm an architect*, 2020, 01/03/2020. <https://www.fastcompany.com/90435650/these-are-the-last-years-of-design-as-we-know-it>. Consulté le 08/08/2022.

Hervé Chagneaud-Dupuy, *Définition frugalité et sobriété*, 2019, <https://www.persopolitique.fr/1576/frugalite/>. Consulté le 17/02/2022.

CLIMAT.BE, *La température des océans augmente*, 2019, <https://climat.be/changements-climatiques/changements-observees/océans>. Consulté le 01/03/2023.

David Cousquer, *Désindustrialisation: les fermetures d'usines en France 2009-2011*, 2011, Trendeo. <https://trendeo.net/>. Consulté le 28/04/2023.

Frugalité heureuse et créative, <https://frugalite.org/a-propos-de-la-frugalite/>. Consulté le 16/03/2022.

Ministère de la culture, *Les monuments historiques*, <https://www.culture.gouv.fr/Thematiques/Monuments-Sites/Monuments-historiques-sites-patrimoniaux/Les-monuments-historiques>. Consulté le 26/08/2022.

Données et études statistique, République Française, *Artificialisation des sols - Enjeu : perte accélérée de la biodiversité*, 2018, <http://www.donnees.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lesessentiels/indicateurs/e21.html>. Consulté le 29/03/2023.

Marina Fabre, *marée noire en arctique*, 2020, <https://www.novethic.fr/>. Consulté le 13/08/2022.

Francis Beaucire, Xavier Desjardins, *Centralité. Polarité, nodalité.*, 2014, https://www.citego.org/bdf_fiche-document-123_fr.html. Consulté le 01/05/2023.

Géoconfluence, *Définition de la ville durable*, 2020, <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/ville-durable>. Consulté le 25/04/2023.

—, *Définition de l'effet Bilbao*, 2022, <https://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/effet-bilbao-ou-effet-guggenheim>. Consulté le 23/04/2023.

—, *Définition de l'étalement urbain*, 2020, <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/etalement-urbain-urban-sprawl-expansion-urbaine>. Consulté le 03/03/2023.

IEA, *La feuille de route de la technologie du ciment*, 2018, <https://www.iea.org/news/cement-technology-roadmap-plots-path-to-cutting-co2-emissions-24-by-2050>. Consulté le 12/09/2022.

Kanopy, *Ouate de cellulose*, <https://www.kanopy-isolation.fr/isolants/53-ouate-de-cellulose>. Consulté le 06/05/2023.

Lacas, Florent, *Action cœur de ville: 200 projets de revitalisation devrait être signé en 2020*, 2020, <https://www.batiactu.com/>. Consulté le 13/02/2023.

INTERVIEW

Ministère de l'agriculture, Filière bois : qualités du bois et construction, 2017, <https://agriculture.gouv.fr/filiere-bois-qualites-du-bois-et-construction#3>. Consulté le 25/03/2023.

Union Sociale pour l'habitat, RE 2020 : le béton, un matériau à l'aube de la révolution AH, 2021, <https://www.union-habitat.org/actualites/re-2020-le-beton-un-materiau-l-aube-de-la-revolution>. Consulté le 16/03/2023.

Vincent Lucchese, Climat : des températures invivables pour l'homme atteintes plus tôt que prévu 2020, <https://usbeketrica.com/fr>. Consulté le 10/04/2023.

Ludovic Lupin, Avec le dégel du permafrost, le réchauffement climatique va largement dépasser les 4°C, 2018, <https://www.novethic.fr/>. Consulté le 13/08/2022.

Philippe Madec, La frugalité n'est pas la sobriété, 2022, Topophile. <https://topophile.net/savoir/la-frugalite-nest-pas-la-sobriete/>. Consulté le 11/05/2023.

Miller, SA, Horvath, A. & Monteiro, PJM, Impacts de la production de béton en plein essor sur les ressources en eau dans le monde., 2018, Nature Sustainability, <https://doi.org/10.1038/s41893-017-0009-5>. Consulté le 22/03/2023.

Ministère de la transition écologique et énergétique, France, Artificialisation des sols, 2022, <https://www.ecologie.gouv.fr/artificialisation-des-sols>. Consulté le 02/03/2023.

—, **Déchet du bâtiment**, 2021, <https://www.ecologie.gouv.fr/dechets-du-batiment>. Consulté le 26/12/2022.

—, **Energie dans les bâtiments**, 2021, <https://www.ecologie.gouv.fr/energie-dans-batiments#:~:text=Le%20secteur%20du%20b%C3%A2timent%20repr%C3%A9sente,climatique%20et%20la%20transition%20C3%A9nerg%C3%A9tique>. Consulté le 01/03/2023.

—, **Matériaux de construction biosourcés et géosourcés**, 2021, <https://www.ecologie.gouv.fr/materiaux-construction-biosources-et-geosources>. Consulté le 25/03/2023.

Banque mondiale, Développement urbain, 2022, <https://www.banquemondiale.org/fr/topic/urbandevelopment/overview#:~:text=Aujourd'hui%2C%2056%20%25%20de,monde%20vivent%20en%20milieu%20urbain>. Consulté le 12/09/2022.

Robert Monroe, Atmospheric carbon dioxide levels reach new high, 2022, <https://scripps.ucsd.edu/news/atmospheric-carbon-dioxide-levels-reach-new-high>. Consulté le 24/04/2023.

OMM, 2019 se classe au deuxième rang des années les plus chaudes observées 2020, <https://public.wmo.int/fr>. Consulté le 15/07/2022.

—, **Les catastrophes météorologiques se sont multipliées au cours des 50 dernières années, causant plus de dégâts, mais moins de décès** 2021, <https://public.wmo.int/fr>. Consulté le 03/03/2023.

ONU, COP24 : le secteur du bâtiment et de la construction, un potentiel inexploité (PNUE), 2018, <https://news.un.org/fr/story/2018/12/1031211>. Consulté le 16/03/2023.

—, **Notre utilisation du sable nous met « le dos au mur »**, <https://www.unep.org/fr/actualites-et-recits/communiqu%C3%A9-de-presse/notre-utilisation-du-sable-nous-met-le-dos-au-mur-indique>. Consulté le 12/03/2023.

—, **Pénurie de l'eau**, <https://www.un.org/fr/waterforlifedecade/themes/scarcity.shtml>. Consulté le 17/04/2023.

—, **Population**, <https://www.un.org/fr/global-issues/population>. Consulté le 07/10/2022.

—, **Questions thématiques : Population**, <https://www.un.org/fr/global-issues/population#:~:text=Selon%20les%20projections%2C%20la%20population,individus%20vers%20l'an%202100>. Consulté le 03/03/2023.

—, **World is 'on notice' as major UN report shows one million species face extinction**, 2019, <https://news.un.org/en/story/2019/05/1037941>. Consulté le 24/04/2023.

OXFAM, Changement climatique : cinq catastrophes naturelles qui demandent une action d'urgence, <https://www.oxfam.org/fr>. Consulté le 19/07/2022.

—, **Cop 25 : les catastrophes dues aux changements climatiques, principal facteur de déplacements internes dans le monde**, 2019, <https://www.oxfamfrance.org/>. Consulté le 01/03/2023.

—, **La transition écologique, clé d'un avenir durable et solidaire**, 2022, <https://www.oxfamfrance.org/climat-et-energie/transition-ecologique/>. Consulté le 02/05/2023.

Ressources, Matériaux de construction, <https://www.res-sources.be/fr/filiere-materiaux-de-%20construction/>. Consulté le 12/03/2023.

Rebeka Steffen, Un lien entre changement climatique et séismes à l'origine de tsunamis inattendus ?, 2021, <https://www.axa-research.org/>. Consulté le 09/03/2023.

Jocelyn Timperley, Why cement emissions matter for climate change, 2018, www.carbonbrief.org. Consulté le 22/03/2023.

UNHCR, La sécheresse entraîne des pénuries alimentaires qui mettent en danger la vie des réfugiés en Éthiopie, 2023, <https://www.unhcr.org/be/>. Consulté le 08/05/2023.

Vitkine, Benoît, Feux en Sibérie, 2019, <https://www.lemonde.fr/>. Consulté le 19/07/2022.

WWF, Lutter contre le dérèglement climatique, <https://www.wwf.fr/champs-daction/climat-energie/dereglement-climatique>. Consulté le 12/09/2022.

AA & Archizoom, Agriculture et architecture, trajectoire communes 3-3, 2020, Archizoom Papers. <https://www.larchitectureaujourd'hui.fr/archizoom-papers-10-agriculture-et-architecture-trajectoires-communes-3/#:~:text=Infiltration.,%2C%20parcs%2C%20talus%2C%20etc>. Consulté le 15/05/2023.

Hello Watt, Quelle est la consommation électrique par jour ?, <https://www.hellowatt.fr/suivi-consommation-energie/consommation-electrique/consommation-electrique-par-jour>. Consulté le 16/05/2023.

Le centre d'information sur l'eau, Quelle est la consommation d'eau moyenne par ménage ? <https://www.cieau.com/le-metier-de-leau/ressource-en-eau-eau-potable-eaux-usees/quels-sont-les-usages-domestiques-de-leau/>. Consulté le 16/05/2023.

IWEPS, Nombre et taille des ménages, 2023, <https://www.iweps.be/indicateur-statistique/nombre-et-taille-des-menages/>. Consulté le 16/05/2023.

IWEPS, Artificialisation des sols, 2023, <https://www.iweps.be/indicateur-statistique/artificialisation-du-sol/>. Consulté le 16/05/2023.

Alain Bornarel, Dans la construction, il faut être frugal en matériaux, en énergie, en technique, Par Le Monde, 2018. https://www.lemonde.fr/climat/article/2018/12/12/dans-la-construction-il-faut-etre-frugal-en-materiaux-en-energie-en-technique_5396521_1652612.html. Consulté le 12/02/2022.

—, **Les entretiens de l'observatoire de la qualité architecturale du logement en île-de-france**, Par CAUE, 2020. <https://www.caue-idf.fr/exploration-2020/alain-bornarel>. Consulté le 10/08/2022.

Philippe Madec, La frugalité vue par Philippe MADEC, Par HESAM UNIV, 2021. <https://www.youtube.com/watch?v=ybGLO5I4e7M>. Consulté le 17/02/2022.

Pierre Rabhi, Pierre Rabhi la sobriété qui rend heureux, Par On passe à l'acte, 2014. <https://www.youtube.com/watch?v=h8elttbSUC4>. Consulté le 16/04/2023.

Les documents non cités sont réalisés par l'auteur

P.20 Dessin de la ville de Tournai en plein essor lors de la révolution industrielle, *La savonnerie Pollet et son quartier industrielle*, auteur et date inconnu, Illustration de propriété à la Société Pollet.

P.22 Les limites planétaires et leur seuil de dépassement, *Stéphane Jungers/Reporterre*,
<https://reporterre.net/Qu-est-ce-que-les-limites-planetaires>
 Consulté le 20/12/2022

P.24 Evolution de la concentration en CO₂ dans l'atmosphère, *Notre environnement, France*.
<https://www.notre-environnement.gouv.fr/themes/climat/les-emissions-de-gaz-a-effet-de-serre-et-l-empreinte-carbone-ressources/article/les-differents-formats-des-donnees-d-emissions-de-gaz-a-effet-de-serre>
 Consulté le 15/03/2023

P.26 Evolution de la biocapacité disponible et de l'empreinte écologique moyenne des habitants au niveau mondiale depuis 1960. *Global footprint network : The national footprint accounts, 2012 éditions*.
<https://www.footprintnetwork.org/2019/04/24/humanitys-ecological-footprint-contracted-between-2014-and-2016/>
 Consulté le 03/04/2023

p.30 Evolution des températures moyennes mondiales depuis 1850 selon plusieurs sources (NASA, NDAA, Hadley Center)
 Crédits : NOAA- NASA- UKMet / Traitement ONERC

P.32 Augmentation du nombre de catastrophes naturelles depuis 1900.
 Source : EM-DAT

P.40 IEA, *Global status report for buildings and construction*, 2022, page 41-42

P.42 Croissance mondiale des principaux minéraux et produits manufacturés (1970 = 1), 2014, M. Fishedick, A. Acquaye, J. Roy, J.P. Ceron,
https://www.researchgate.net/publication/270577820_Climate_Change_2014/download.
 Consulté le 09/08/2022

P.44 Les 5 pires entreprises par émissions de gaz à effet de serre annuelles en Tonnes équivalent CO₂, *OXFAM France, D'après les données de Carbon4 Finance*, 2021, p.11

P.46 Musée Guggenheim, Bilbao, 2022, Alyn Griffiths, *Dezeen*.
<https://www.dezeen.com/2022/05/18/frank-gehry-guggenheim-museum-bilbao-de-constructivism/>.
 Consulté le 15/05/2023

p.48 The line, NEOM, <https://www.neom.com/fr-fr/regions/theline>. Consulté le 15/05/2023

P.54 Graphique de la croissance à long terme, *Dennis Meadows, Donella Meadows et Jørgen Randers, The limits to growth*, 1972, Le club de Rome, Fayard,

P.58 Relation entre densité et consommation d'énergie, *Newman et Kenworthy, et Vincent Fouchier*

P.68 Réhabilitation de l'îlot Saint Vincent de Paul, Paris. *Architecte ChartierDalix*,
<https://www.chartier-dalix.com/fr/projets/groupe-scolaire-gymnase-pinard-paris-14>
 Consulté le 23/05/2023

P.68 Axométrie cathédrale notre Dame de Paris, « *De fil en aiguille* », *Master 2 en architecture bois construction*, Petitjean V. Ben Abdallah L. Chabert R. Lefebvre H. Belaid I.

P.70 Comparaison des bilans carbone selon les différents procédés de construction, *Pavillon de l'Arsenal, Conserver, Adapter, transmettre* 2022, Page 22

P.76 Coefficient des différentes surfaces selon leur potentielle accumulation de chaleur (Ilot de chaleur Urbain), *Construction21*, <https://www.construction21.org/france/articles/h/loutil-score-icu.html>, Consulté le 26/05/2023

P.84 et P.85 Illustration des scénarios de S. Marot

<https://www.larchitectureaujourd'hui.fr/archizoom-papers-10-agriculture-et-architecture-trajectoires-communes-3/>
 Consulté le 24/03/2023

P.88 Photographie d'un jardin potager collectif à Paris, *Crédit photo : Marc Bertrand*

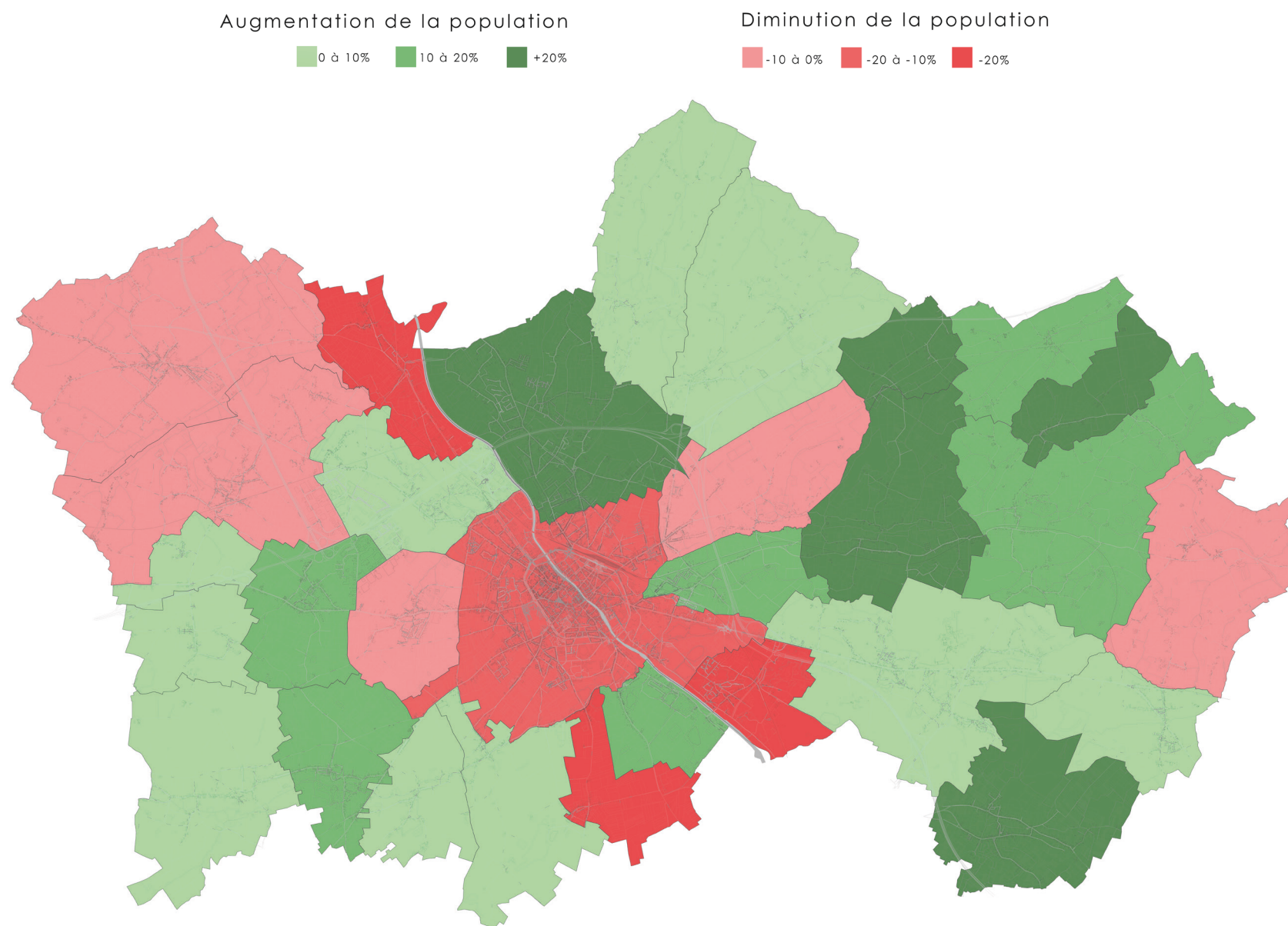
P.94 Carte des communes wallonnes en fonction de leur niveau d'urbanisation morphologique. *Enquête socio-économique 2001, Cartographie CREAT, UCL, 2008*.

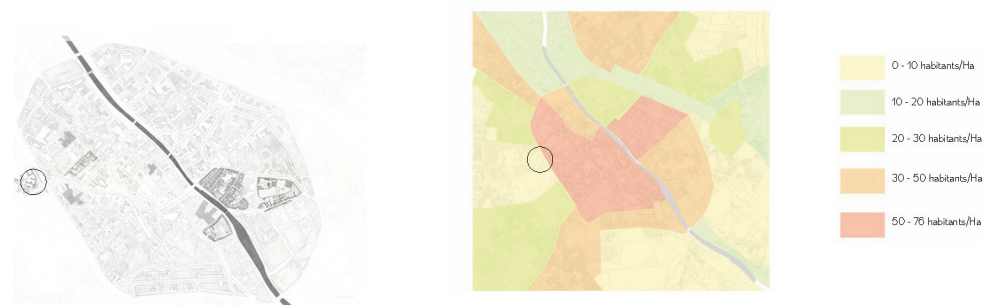
P.94 Vitalité des principaux centre villes commerçants. *Sogepa, Wallonie Commerce*, 2016.

P.94 Perspective de l'évolution de la population 2020-2035. *IWEPS, 2023*.

ANNEXES

Carte réalisé par l'auteur selon la base de données de 1977 et celle de 2022





Localisation : Rive Ouest de Tournai

Ancienne affectation : Ecole

Année de construction : inconnu

Année d'arrêt de service : 2010

Superficie au sol perméable: 1530 m²

Superficie au sol non perméable: 0 m²

Surface non bâtie totale : 535 m²

Superficie bâtie: 1859 m²

Superficie totale : 3924 m²

AFOM

Atout : structure pré existante

Faiblesse : Situations bruyante (boulevard)

Opportunité : seuil entre la ville et sa périphérie

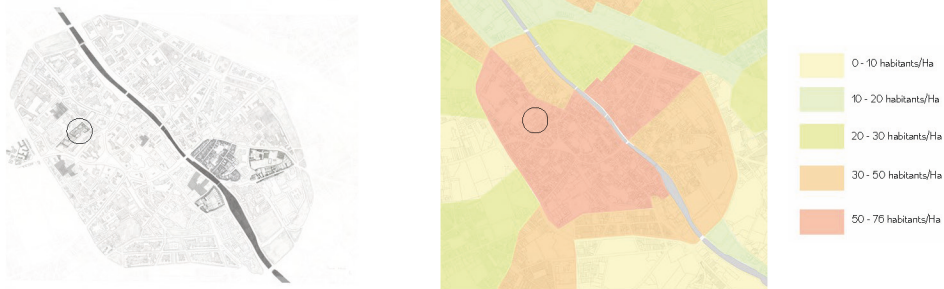
Menace : pas de menaces

Tous ces sites sont regroupés dans une catégorie d'édifices appelée « SAR de droit » (Site à réaménager). Ces sites sont alors identifiés comme à réaménager par la Direction de l'Aménagement opérationnel et de la Ville. La définition d'un site à réaménager (SAR) proposée par l'article D.V.1, 1° du CoDT est la reproduction de l'article 167 du Code wallon de l'Aménagement du Territoire, de l'Urbanisme, du Patrimoine (CWATUP) : « un bien immobilier ou un ensemble de biens immobiliers qui a été ou qui était destiné à accueillir une activité autre que le logement et dont le maintien dans son état actuel est contraire au bon aménagement des lieux ou constitue une déstructuration du tissu urbanisé ». Ces sites peuvent être donc de nature diverse telle que d'anciennes usines ou activités économiques, hôpitaux ou encore des écoles.

Tous les sites disponibles intra-muros sont la suite d'une analyse afin de déterminer quel site est le plus pertinent afin d'accueillir un programme de logement. Le but de reconstruire la ville sur la ville est un élément clé de la frugalité permettant de trouver des alternatives à l'étalement urbain en réutilisant la matière déjà existante que sont les bâtiments.

1 Le site du trèfle

Ancienne école située sur les boulevards de Tournai, le site du trèfle est maintenant à l'abandon depuis une dizaine d'années. Il a pour atout d'avoir une structure relativement stable et en bon état. Cependant, sa plus grande faiblesse est sa situation entre deux grands axes passants qui sont les boulevards et l'avenue de Gaulle. Il possède cependant une position intéressante, car il se situe à la limite de la ville. L'opportunité de cet emplacement en tant que rotule entre la ville et sa périphérie le rend particulièrement intéressant pour des projets tels que le rapprochement entre l'urbain et le rural. Le site ne possède aucune menace particulière hormis le fait que s'il continue à être laissé à l'abandon, il peut y avoir certaines dégradations irréversibles ou très coûteuses à remettre en état.



Localisation : Rive Ouest de Tournai

Ancienne affectation : Ancien mont de piété

Année de construction : 1618

Année d'arrêt de service : 2022

Superficie au sol perméable: 209 m²

Superficie au sol non perméable: 94 m²

Surface non bâtie totale : 303 m²

Superficie bâtie: 938 m²

Superficie totale: 1544 m²

AFOM :

Atout : grande valeur patrimoniale

Faiblesse : Parcelle extrêmement réduite pour tout projets d'aménagement

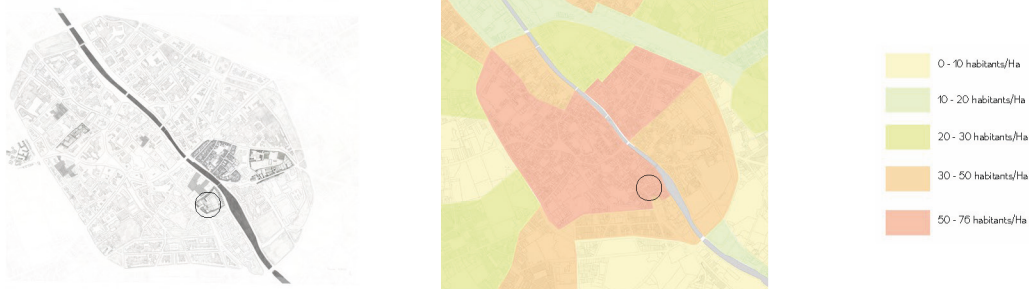
Opportunité : situé en plein coeur de ville

Menace : risque d'effondrement

2 Le mont-de-piété

Situé dans l'hypercentre de Tournai, le mont-de-piété a subi énormément de changement programmatique au cours du temps. Érigé vers 1622, il était initialement comme tous les monts de piété une institution indépendante finançant de l'argent à la population contre des objets leur appartenant, actuellement cela équivaut à un prêt sur gage. Depuis quelques dizaines d'années, le bâtiment s'est transformé en musée archéologique, mais a dû précipitamment fermer ses portes pour cause d'insalubrités.

Latout majeur de ce bâtiment est sa grande valeur patrimoniale, témoin de l'histoire tournaisienne. Cependant, sa plus grande faiblesse est sa parcelle, extrêmement faible et enclavée dans le tissu urbain. Dans le cas d'une réhabilitation du bâtiment, aucun aménagement supplémentaire ne pourrait être possible. L'opportunité ici est son emplacement stratégique en cœur de ville, là où le nombre d'habitants est le plus élevé dans la ville. Néanmoins, la plus grande menace sur cet édifice est son état actuel. La charpente manque de s'effondrer et les infiltrations d'eau constantes obligerait une réhabilitation lourde au sein du bâtiment. De plus, le bâtiment par sa forme allongée et son épaisseur relativement faible rend extrêmement difficile sa transformation en logement collectif. Par ailleurs, lors de l'année 2018-2019, les étudiants de la faculté d'architecture LOCI Tournai effectuèrent un projet de reconversion du site dans le cours « Patrimoine » dont les nouvelles fonctions seraient un nouveau musée, une bibliothèque et des espaces de coworking, bien plus adapté à la morphologie du lieu.



Localisation : Rive Ouest de Tournai

Ancienne affectation : Entrepôts

Année de construction : inconnu

Année d'arrêt de service : inconnu

Superficie au sol perméable: 512 m²

Superficie au sol non perméable: 391 m²

Surface non bâtie totale : 903 m²

Superficie bâtie: 2217 m²

Superficie totale : 3121m²

AFOM

Atout : grande structure pré existante

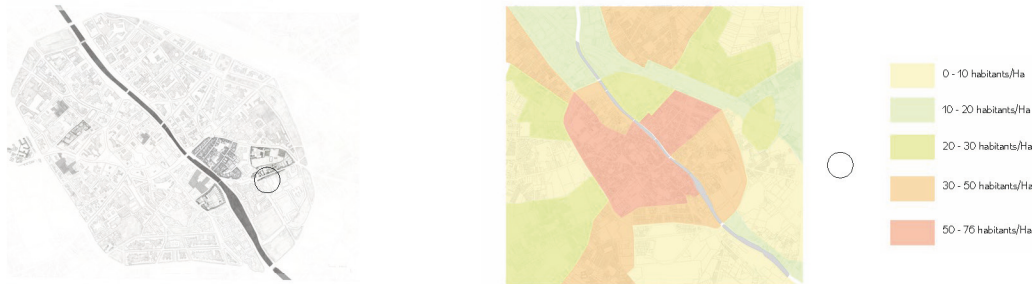
Faiblesse : enclavement dans un coeur d'ilot non perméable

Opportunité : pas d'opportunités

Menace : structure apparante, risque de dégradations

3 Le site de l'union ferronnière

Le site de l'union ferronnière situé dans le quartier St Piat et est un ensemble d'ancien hangar. L'atout de ce site et à la fois sa faiblesse sont les grandes structures préexistantes. Elles recouvrent la quasi-entièreté de la parcelle ce qui en fait une structure primaire déjà exploitable. Cependant, la typologie des bâtiments dans l'état actuel n'est pas propice à la création de logements, mais a pour vocation de rester dans une typologie de hangar. Le site ne présente pas d'opportunité, il se prolonge en cœur d'ilot sans dégagements possible. Concernant les menaces, celle-ci sont d'ordre structurel, en effet, les couvertures de toitures sont partiellement détruites rendant les structures métalliques à l'air libre face aux conditions climatiques, à terme, un risque de dégradation de celle-ci est fortement probable.



Localisation : Rive Est de Tournai

Ancienne affectation : Entrepôts

Année de construction : inconnu

Année d'arrêt de service : inconnu

Superficie au sol perméable: 60 m²

Superficie au sol non perméable: 997 m²

Surface non bâtie totale : 1057 m²

Superficie bâtie: 536 m²

Superficie totale : 2650 m²

AFOM :

Atout : structure pré existante

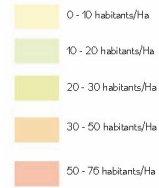
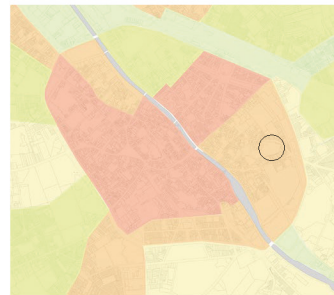
Faiblesse : fortement enclavé + parcelle restreinte

Opportunité : création de logement

Menace : pas de menaces

4 L'ancienne fonderie Saint-Jean

L'ancienne fonderie Saint-Jean est un ancien site industriel situé à l'est de Tournai. D'une superficie relativement petite, le site possède comme atout d'avoir des bâtiments dans un bon état structurel. Cependant, le site est enclavé dans un quartier dont l'unique accès se fait par un portail depuis la rue. La parcelle, très restreinte limite tout projet d'aménagement ou d'extension supplémentaire le rendant difficilement transformable, au mieux pour quelques logements. Actuellement, le site ne possède aucune menace.



Localisation : Rive Est de Tournai

Ancienne affectation : Ecole

Année de construction : inconnu

Année d'arrêt de service : inconnu

Superficie au sol perméable: 1334 m²

Superficie au sol non perméable: 4835 m²

Surface non bâtie totale : 6169 m²

Superficie bâtie: 3561 m²

Superficie totale : 9730 m²

AFOM :

Atout : Grande surface urbanisable + coeur d'îlot potentiellement perméable

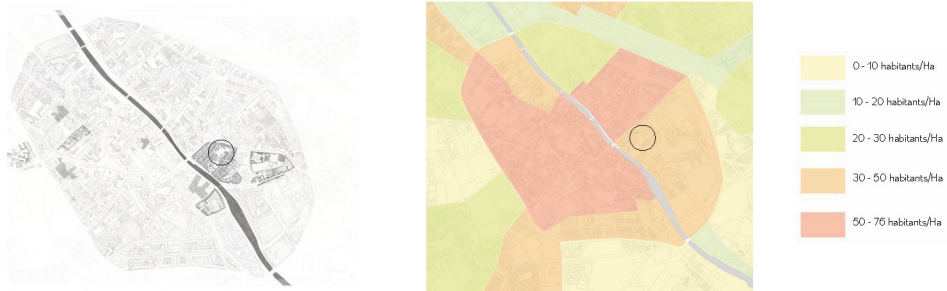
Faiblesse : bâtiment délabré

Opportunité : création d'un nouvel espace d'habitat à l'échelle du quartier

Menace : pas de menaces

5 L'ancien collège ITCF

L'ancien collège ITCF est accolé à l'ancienne fonderie Saint-Jean. Composé de l'ancien collège actuellement à l'abandon, c'est un site dont l'atout est sa taille de presque un hectare. La faiblesse du site réside dans l'état de ses bâtiments, tout délabrés. Une réhabilitation lourde des bâtiments n'est pas envisageable, l'état, la typologie du bâti et son emplacement au centre de la parcelle rendent inenvisageable une quelconque revalorisation du site. Cependant, la taille du site rend envisageable une opportunité pour requalifier son aménagement en nouveau quartier urbain.



Localisation : Rive Est de Tournai

Ancienne affectation : ancienne savonnerie

Année de construction : 1946 forme actuelle

Année d'arrêt de service : 1994

Superficie au sol perméable: 552 m²

Superficie au sol non perméable: 1618 m²

Surface non bâtie totale : 2170 m²

Superficie bâtie: 2210 m²

Superficie totale: 4597 m²

AFOM :

Atout : structure existante stable et étanche

Faiblesse : actuellement enclavé

Opportunité : grande surface en coeur d'îlot + grande surface bâtie

Menace : risque d'abandon du site

6 L'ancienne savonnerie Pollet

Le dernier site remarquable au sein de la ville est l'ancienne savonnerie Pollet, construite en 1946 et située au cœur du quartier st Brice. Les anciennes usines possèdent une structure stable et étanche à l'air et à l'eau. Sa grande surface en cœur d'îlot laisse place à de possibles aménagements urbains. Cependant, la principale faiblesse réside dans son enclavement vis-à-vis de la ville par une privatisation de celui-ci. De plus, le site se situe dans un quartier de Tournai dont la densité est plus faible que dans l'hypercentre.



Plan du site par Léonide Demarke, architecte,
1926



Plan du site relevé par un géomètre expert,
Mars 1946



05/07/1995



19/02/1999



05/02/1999



12/02/1999



15/04/1996



12/02/2000



15/05/1999



12/02/1999



21/07/2019



21/07/2019



21/07/2019



21/07/2019

Récupération des briques issu de la déconstruction : calcul

| Batiment E | | | | | |
|---|-------|------|------|-------|-------|
| Déconstruction pour nouvelle fenetre | | | | | |
| epaisseur (m) | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| hauteur (m) | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 2,2 | 2,2 |
| largeur (m) | 1,8 | 1,5 | 1,5 | 1,1 | 2,6 |
| Total m³ déconstruit | 0,648 | 0,54 | 0,54 | 0,726 | 1,716 |
| Total | 8,34 | m³ | | | |

| Bâtiment D | | |
|---|-------|----|
| Mur coté cœur d'îlot déconstruit | | |
| epaisseur (m) | 0,3 | |
| hauteur (m) | 4 | |
| largeur (m) | 7,9 | |
| Total m³ déconstruit | 9,36 | m³ |
| dalle beton déconstruite | 136m² | |
| bois charpente | | |
| tuile | | |

| Bâtiment C | | | |
|--|--------|---------------|------------------|
| Déconstruction pour nouvelles ouvertures | | Arcade jardin | ouverture jardin |
| epaisseur (m) | 0,3 | | 0,3 |
| hauteur (m) | 3 | | 1,2 |
| largeur (m) | 2,9 | | 2,9 |
| Total m³ déconstruit | 5,22 | | 6,264 |
| Total | 11,484 | m³ | |

| Batiment F | | | |
|---|--------|-------|-------|
| Déconstruction total de la maison de ville | | | |
| epaisseur (m) | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| hauteur (m) | 6 | 6 | 6 |
| largeur (m) | 7,9 | 8,9 | 6,6 |
| Total m³ déconstruit | 14,22 | 16,02 | 11,88 |
| Total | 37,428 | m³ | |
| 1 porte 2,2x1 | 0,66 | | |
| 8 fenetres 1,4x1,2 | 4,032 | | |
| charpente | | | |
| tuile | | | |

| Bâtiment A et B | | | |
|---|---------|------|-------|
| Déconstruction total de la maison de ville | | | |
| epaisseur (m) | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| hauteur (m) | 12 | 9,6 | 9,6 |
| largeur (m) | 17,8 | 10 | 12 |
| Total m³ déconstruit | 128,16 | 28,8 | 69,12 |
| Total | 184,884 | m³ | |
| 14 fenetres 1,1*1,4 | 12,936 | | |
| 6 fenetres 1,2*1,8 | 3,888 | | |
| rdc vitrage 3*18 | 16,2 | | |
| 3fenetres 0,8*0,8 | 0,192 | | |
| 4 porte fenetre 3*1,4 | 1,26 | | |
| 8 grande fenetres 2*1,4 | 6,72 | | |

| Bâtiment G | | | | |
|---|--------|-------|---------|------|
| Déconstruction pour nouvelle baies | | Porte | Fenetre | |
| epaisseur (m) | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| hauteur (m) | 2,1 | 1,2 | 2,2 | 2,5 |
| largeur (m) | 1 | 1,6 | 3,2 | 1,4 |
| Total m³ déconstruit | 6,3 | 5,76 | 2,112 | 3,15 |
| Total | 17,322 | m³ | | |

| Bâtiment H | |
|---------------------------------------|--------|
| déconstruction mur parcellaire | |
| epaisseur (m) | 0,3 |
| hauteur (m) | 8 |
| largeur (m) | 6,5 |
| Total m³ déconstruit | 15,6 |
| dalle beton | 150 m² |

| Bâtiment I | |
|---------------------------------|-------|
| déconstruction mur Ouest | |
| epaisseur (m) | 0,3 |
| hauteur (m) | 8,8 |
| largeur (m) | 22 |
| Total m³ déconstruit | 58,08 |

| | | |
|--|----------|----|
| TOTAL volume déconstruction briques | 342,498 | m³ |
| volume brique 5x20x10 cm | 0,001 | m³ |
| volume joint | 0,00005 | m³ |
| volume total brique + joints | 0,00115 | m³ |
| Quantité de briques récupérées | 297824,3 | |
| nombre brique récupérée basé sur un taux de récupération de 60% | 178694,6 | |

Besoin en brique pour la transformation du site : calcul

| Nouveau bâtiment entrée rue Clercamps | | | |
|---------------------------------------|-------------|----------|----------|
| largeur murs (m) | 27,5 | 25,9 | 9,6 |
| hauteur murs (m) | 3,5 | 6,5 | 2,2 |
| epaisseur murs (m) | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| Surface total mur en brique | 96,25 | 168,35 | 63,36 |
| Volume de brique (épaisseur 10 cm) | 8,6625 | 15,1515 | 5,7024 |
| Besoin en brique | 7532,608696 | 13175,22 | 4958,609 |
| Besoin en brique Totale | 25666,43478 | | |

| Batiment A et B | | | |
|------------------------------------|-------------|----------|----------|
| largeur murs (m) | 34,5 | 7,9 | 10,5 |
| hauteur murs (m) | 9,7 | 2,5 | 9,7 |
| epaisseur murs (m) | 0,1 | 0,3 | 0,1 |
| Surface total mur en brique | 334,65 | 59,25 | 203,7 |
| Volume de brique (épaisseur 10 cm) | 30,1185 | 5,3325 | 18,333 |
| Besoin en brique | 26190 | 4636,957 | 15941,74 |
| Besoin en brique Totale | 46768,69565 | | |

| Mur de raccordements | |
|------------------------------------|-------------|
| largeur murs (m) | 6,6 |
| hauteur murs (m) | 12,4 |
| epaisseur murs (m) | 0,1 |
| Surface total mur en brique | 81,84 |
| Volume de brique (épaisseur 10 cm) | 7,3656 |
| Besoin en brique Totale | 6404,869565 |

| Brique pour créer les nouvelles ouvertures | |
|--|-------------|
| Volume moyen des baies | 0,24 |
| Nombre total d'ouvertures | 17,76 |
| volume brique | 0,00115 |
| Besoin en brique Totale | 15443,47826 |

| Création des patios intérieurs | | |
|------------------------------------|-------------|---------|
| | | volume |
| surface mur 1 | 99,072 | 8,91648 |
| surface mur 2 | 220,8 | 19,872 |
| surface mur 3 | 214,08 | 19,2672 |
| Surface total mur en brique | 533,952 | |
| Volume de brique (épaisseur 10 cm) | 48,05568 | m³ |
| Besoin en brique Totale | 41787,54783 | |

Récupération et besoin en pavé pour la transformation des cheminements : calcul

| | | |
|---------------------------------------|--------|----|
| m³ pavé | | |
| surface total pavée | 1644 | m² |
| hauteur pavé | 0,05 | m |
| dimension pavé m² | 0,015 | m² |
| quantité pavé récupéré | 109600 | |
| Taux de récupération des pavés : 80 % | 87680 | |

| | | |
|--|-------------|----|
| surface pavé nécessaire réhabilitation | 472 | m² |
| Quantité de pavés nécessaire | 31466,66667 | |

Une recherche d'autonomie en eau.

| | EAU | | |
|---|--------|---------------------------|--|
| Surface totale des toitures | 1565 | m ² | |
| Surface totale des toitures récupérant les eaux | 1175 | m ² | |
| précipitation annuelle à Tournai | 782 | mm/an/m ² | |
| 1 personne | 50 | L d'eau non potable/jours | |
| | | | |
| eau récupérée par an | 744269 | L d'eau par an récupérée | |
| nombre de personnes | 92 | personnes | |
| nombre de L par jour de pluie (111 jours) | 6669 | L | |
| autonomie 35 jours (L) | 71368 | L | |
| nombre de citerne 5 000L | 14 | | |
| nombre L/personnes/jour | 22 | L | |
| volume bassin | 240000 | L | |
| L récupérée par bassin/an | 132940 | L | |
| toiture vers bassin | 111640 | L | |

$$Q[L] = P[L/m^2] \times S[m^2] \times T[\%] \times R[\%] \times O[L/an]$$

P = la pluviométrie annuelle [l/m²], soit à Tournai = 782mm / an

S = la surface de collecte [m²], soit ici environ 72 m²

T = le taux de récupération de la surface de collecte déterminé par la nature du revêtement [%], soit pour une toiture plate bitumineuse = 90%

R = le rendement des préfiltres [%], soit ici des filtres autonettoyants enterrés ou intégrés à la citerne : filtre cyclone, filtre tourbillonnaire ou filtre à maille fixe = 90 %

O = le coefficient de pente et d'orientation de la surface de collecte = 1

Une recherche d'autonomie en électricité.

| | energie solaire | |
|--|-----------------|------------------------|
| panneau solaire | 220 | kwh/m ² /an |
| | | |
| Surface totale des toitures muni de panneaux solaire | 609 | m ² |
| Nombre de Kwh produit en une année | 133980 | kwh |
| Nombre de Kwh disponible par jour et par habitant | 4,0 | kwh |
| Nombre de Kwh par jour et par habitant pouretre autonome | 6 | kwh |

Une recherche d'autonomie alimentaire

| | Maraîchage | |
|--|------------|----------------|
| Surface total maraîchère | 1970 | m ² |
| Surface maraîchère nécessaire pour être autonome pour un régime végétarien | 60 | m ² |
| Surface disponible maraîchère pour les habitants | 21,41 | m ² |

| | kg | | m ³ | |
|---|------|-------------------|----------------|----------------|
| nombre d'habitants | 92 | personnes | | |
| 1 flambée de bois par appartement | 22 | kg de bois/ jours | 0,044 | m ³ |
| 2 mois d'autonomie | 1320 | kg de bois | 2,64 | m ³ |
| stockage bois dans 1 appartement | 858 | kg de bois | 0,858 | m ³ |
| Stockage bois dans les parties communes | 2640 | kg de bois | 2,64 | m ³ |
| autonomie bois dans un appartement | 39 | jours d'autonomie | | |

Annexe 7 - Calcul gain bois structure

| | Avec noyau porteur | sans noyau porteur | | GAIN |
|--|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| Section des poutres portantes | 38x175 | 80x400 | mm | |
| Portée des poutres | 2,5 | 7,6 | m | |
| Volume poutre portante | 0,017 | 0,243 | m ³ | |
| Quantité de poutres | 6 | 3 | | |
| Volume total de poutres portantes | 0,10 | 0,730 | m ³ | |
| | | | | |
| Section des solives | 63x140 | 63x140 | | |
| Portée des solives | 3 | 3 | | |
| Volume des solives | 0,026 | 0,026 | m ³ | |
| Quantité de solives | 37 | 40 | | |
| Volume total de solives | 0,979 | 1,058 | m ³ | |
| | | | | |
| Volume total de bois engagé dans la structure | 1,079 | 1,788 | m ³ | 32 m ³ |
| | | | | |
| charges variables + permanentes | 240 | 240 | kg /m ² | |

Annexe 8 - Calcul du coefficient de biodiversité et d'îlot e chaleur urbain

| | Coefficient Biodiversité Surfaces | Actuel | Futur |
|-------------------------------------|-----------------------------------|--------|-------|
| Surfaces végétales | 1 | 530 | 2310 |
| Surface de toitures végétales | 0,5 | 0 | 1814 |
| Surface carrossable semi-perméables | 0,3 | 0 | 663 |
| Surfaces carrossables imperméables | 0 | 1994 | 0 |
| Surfaces toitures bituminées | 0 | 2263 | 0 |
| Surface Totale îlot | | 4787 | 4787 |
| | | | |
| Coefficient Biodiversité | | 0,1 | 0,71 |

| | Coefficient ICU Surfaces | Actuel | Futur |
|---------------------|--------------------------|--------|-------|
| Surfaces végétales | 0,25 | 690,5 | 3553 |
| Surfaces bituminées | 0,75 | 4096,5 | 1234 |
| Surface Totale îlot | | 4787 | 4787 |
| | | | |
| ICU | | 0,68 | 0,25 |

| Lot Technique Sanitaire | Total cycle de vie | Fin de construction | |
|-------------------------|--------------------|---------------------|-----------|
| wc | 104 | 10,6 | Kg de CO2 |
| douche | 500 | 42,4 | Kg de CO2 |
| douche et canalisation | 40,8 | 2,5 | Kg de CO2 |
| lavabo | 149,2 | 22,8 | Kg de CO2 |
| evier | 98,8 | 7,08 | Kg de CO2 |

| Lot structure | Total cycle de vie | Fin de construction | | Surface |
|-------------------|--------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|
| Terre pisée | 16,3 | 5,49 | Kg de CO2/m ² | 99 m ² |
| | 1613,7 | 543,51 | Kg de CO2 | |
| Mur ossature bois | 8,83 | 3,13 | Kg de CO2/m ² | 152 m ² |
| | 1342,16 | 475,76 | Kg de CO2 | |
| Plancher bois | 13,5 | 2,84 | Kg de CO2/m ² | 195 m ² |
| | 2632,5 | 553,8 | Kg de CO2 | |
| Poutre bois | 59,5 | 28,4 | Kg de CO2/m ³ | 0,43 m ³ |
| | 25,585 | 12,212 | Kg de CO2 | |

| VRD | Total cycle de vie | Fin de construction | | longeur |
|---------------------|--------------------|---------------------|---------------|---------|
| Evacuation des eaux | 6,55 | 2,72 | Kg de CO2 / m | 21m |
| | 137,55 | 57,12 | | |

| | | | | |
|----------------|---------|------|--------|----------------|
| Electromenager | moyenne | 6000 | kg/CO2 | Source : ADEME |
|----------------|---------|------|--------|----------------|

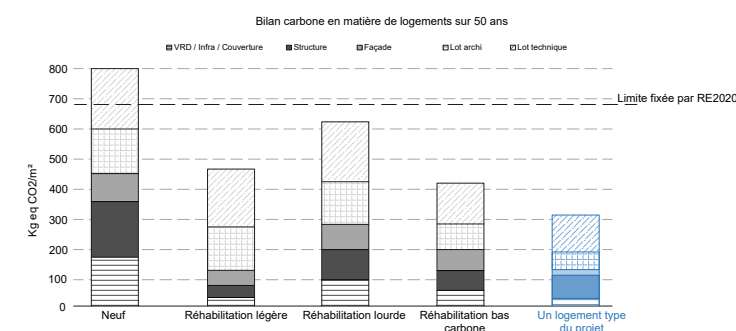
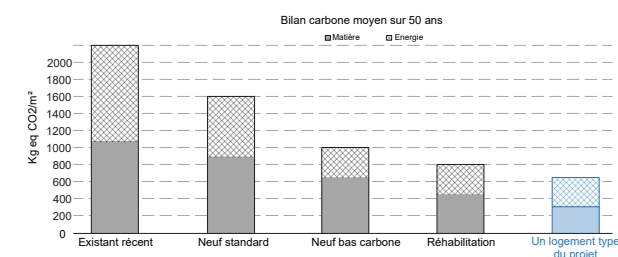
| | Total cycle de vie | Fin de construction | |
|-------------------------|--------------------|---------------------|------------------|
| Lot Technique sanitaire | 892,8 | 85,38 | |
| Lot structure | 5613,945 | 1585,282 | |
| VRD | 137,55 | 57,12 | |
| Lot technique | 6146,064 | 893,9344 | |
| Extraction | 2592 | 496 | |
| Electroménager | 6000 | 6000 | |
| TOTAL | 21382,359 | 9117,7164 | Kg de CO2 |

| | Total cycle de vie | Fin de construction | |
|---------------------------|--------------------|---------------------|--------------------------|
| TOTAL | 21382,359 | 9117,7164 | |
| conversion m ² | 305,4622714 | 130,2530914 | Kg de CO2/m ² |

Source : INIES (donnée environnementales et sanitaire de référence pour le bâtiment)

| Lot technique | Total cycle de vie | Fin de construction | | Surface |
|------------------------------|--------------------|---------------------|--------------------------|-----------------------|
| Ouate de cellulose | 1,44 | 0,58 | Kg de CO2/m ² | 327,08 m ² |
| | 4709,952 | 189,7064 | Kg de CO2 | |
| Panneau de liège accoustique | 5,11 | 0,453 | Kg de CO2/m ² | 110 m ² |
| | 1022 | 90,6 | Kg de CO2 | |
| Pare vapeur | 0,777 | 0,104 | Kg de CO2/m ² | 152 m ² |
| | 118,104 | 15,808 | Kg de CO2 | |
| Pare pluie | 7,58 | 1,53 | Kg de CO2/m ² | 152 m ² |
| | 1152,16 | 232,56 | Kg de CO2 | |
| Parquet | 8,61 | 1,32 | | 110 m ² |
| | 947,1 | 145,2 | | 110 m ² |
| Escalier | 69,3 | 16,2 | Kg de CO2 / m | 5 m |
| | 346,5 | 81 | Kg de CO2 | |
| Fenêtre | 75,3 | 4,09 | Kg de CO2/m ² | 34,01 m ² |
| | 2560,2 | 139,06 | Kg de CO2 | |

| Extraction | Total cycle de vie | Fin de construction | | Volume |
|------------|--------------------|---------------------|--|-------------------|
| Remblais | 162 | 31 | | 16 m ³ |
| | 2592 | 496 | | |



LA FRUGALITÉ, VERS UN RENOUVEAU DE L'ARCHITECTURE

En quoi la réhabilitation en centre urbain permet-elle d'atteindre la frugalité ?

Mémoire présenté par Antoine Meinsier en vue de l'obtention du diplôme d'architecte.

Promoteur - Eric Van Overstraeten.

Faculté d'architecture, d'ingénierie architecturale et d'urbanisme.

UCL - LOCI Tournai.

Année académique 2022 - 2023

Merci pour votre lecture

