

Titre : Les façades démontables zéro déchet : agir pour demain. Retour critique

Étudiante : DELFOSSE Juliette  
Année académique : 2018 – 2019  
Copromoteur - expert : GOBBO Emilie  
Copromoteur : THIELEMANS Benoit  
Copromoteur : VAN MOESEKE Geoffrey  
Date de présentation : Mercredi 19 Juin 2019

Résumé :

Le principe de démontabilité en architecture constitue aujourd'hui une des réponses possibles à différents enjeux écologiques. En effet, les façades démontables zéro déchet permettraient d'anticiper les changements futurs dès la conception afin d'éviter la production de déchets et de préserver une partie des matières et des énergies premières. Plus que de prolonger la vie des matériaux de façade, elles donneraient l'opportunité de prolonger la vie du bâtiment lui-même puisque celui-ci pourrait être rénové ou même voir son affectation changer sans pour autant être détruit. L'objectif de ce travail est de sensibiliser et d'informer les architectes et autres acteurs de la construction grâce à une première partie plus théorique, avant de leur donner quelques outils nécessaires à la conception de façades démontables zéro déchet. La dernière partie concernant le cas d'étude permet de confronter et de confirmer la théorie et les outils avec un projet de façade démontable zéro déchet. Ce mémoire a donc pour objectif global de contribuer à la création d'une architecture plus responsable où tous les bâtiments seraient capables de s'adapter dans le temps sans destruction ni gaspillage.

Mots-clefs :

- Architecture démontable
- Façade
- Préfabrication
- Architecture flexible
- Réemploi de bâtiment
- Réemploi des matériaux
- Détail de construction
- Bureau
- Rénovation urbaine

# Les façades démontables zéro déchet : agir pour demain

Retour critique



Juliette DELFOSSE



« All buildings are predictions. All predictions are wrong. There's no escape from this grim syllogism, but it can be softened. ».

« Tous les bâtiments sont des prédictions. Toutes les prédictions sont fausses. On ne peut échapper à ce syllogisme sinistre, mais il peut être adouci. » <sup>1</sup>.

Stewart Brand dans How Buildings Learn, 1994.

Travail de Fin d'Études : Juliette Delfosse

Promotrice : Emilie Gobbo

Co-promoteurs : Benoit Thielemans et Geoffrey Van Moeseke

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

LOCI UCL

Année académique 2018-2019

---

<sup>1</sup> Traduction de l'auteur.



## Remerciements

*Ce travail clôture cinq années d'étude en architecture au sein de la faculté d'architecture, d'ingénierie architecturale et d'urbanisme, LOCI UCL. Il m'a permis d'acquérir des connaissances sur un sujet qui m'a passionnée durant une année entière. J'ai à cœur de remercier plusieurs personnes sans lesquelles ce mémoire n'aurait pas été le même.*

*Merci à mes professeurs d'atelier et co-promoteurs, Monsieur Goeffrey Van Moeseke et Monsieur Benoit Thielemans pour leur aide et leur accompagnement extrêmement enrichissant tout au long de l'année.*

*Je remercie mon experte, Emilie Gobbo pour sa disponibilité et ses précieux conseils qui ont fait évoluer mon TFE.*

*Je remercie mes professeurs d'éco-conception pour l'intérêt qu'ils ont éveillé en moi quant à l'architecture démontable, ainsi que l'architecte Gérard Bedoret pour son aide lors de la recherche du thème de ce mémoire.*

*Je remercie également :*

- *Sabine Léribaux du bureau Architectes Associés et Gaëtan Duyckaerts des Ateliers de l'Avenir pour le partage de leurs connaissances sur le sujet.*
- *Ma mère Isabelle Golenvaux pour ses relectures, ses conseils et son intérêt, ma sœur, Vincent et mes proches pour les longues discussions et leurs conseils sur le sujet.*
- *Les étudiants de l'atelier de recherche Utopie pour le partage de leurs thèmes de TFE qui a permis d'enrichir les projets de chacun.*

# Table des matières

<b>09</b>	<b>Introduction</b>
<b>11</b>	<b>Objectifs du TFE</b>
<b>13</b>	<b>Partie I</b>
	<b>Etat des lieux</b>
<b>13</b>	<b>1.1 Enjeux</b>
13	1.1.1 Urgence écologique
14	1.1.2 Démolitions fréquentes
15	1.1.3 Obstacles
17	1.1.4 Enjeux économiques
<b>18</b>	<b>1.2 Utopie : Agir pour demain</b>
18	1.2.1 « Construire pour déconstruire »
18	1.2.2 Généralisation
18	1.2.3 Amélioration
<b>19</b>	<b>1.3 Définitions</b>
19	1.3.1 Façade démontable
19	1.3.2 Façade zéro déchet
19	1.3.3 Réemploi, réutilisation et recyclage
<b>20</b>	<b>1.4 Sources théoriques et expériences</b>
	<b>La démontabilité, clé de la façade zéro déchet</b>
20	1.4.1 Eléments de réponse apportés par la démontabilité
<b>24</b>	<b>1.5 Pistes d'action</b>
24	1.5.1 Sensibilisation, information et formation
25	1.5.2 Outils théoriques
26	1.5.3 Moyens pour arriver à une façade démontables zéro déchet
29	1.5.4 Langage architectural
29	1.5.5 Synthèse des pistes de réponses théoriques
<b>31</b>	<b>1.6. Sources pratiques : catalogue de références</b>
31	1.6.1 Critères d'évaluation des projets
32	1.6.2 Circular Retrofit Lab
33	1.6.3 Projets du bureau Architectes Associés
38	1.6.4 Bureau de Delftech
39	1.6.5 Système AIM-ES
40	1.6.6 Projets faisant appel au système CIMEDE
44	1.6.7 Cité Internationale de Cuques
45	1.6.8 Système Modul'Air
46	1.6.9 Synthèse des pistes de réponse

<b>48</b>	<b>Partie II</b>
	<b>Proposition de conseils pratiques</b>
<b>48</b>	<b>2.1 Dimensionnement des modules</b>
48	2.1.1 Largeurs des modules
49	2.1.2 Dimensions en fonction des matériaux
49	2.1.3 Diversité des modules
49	2.1.4 Dimensions utiles pour les locaux
49	2.1.5 Synthèse
<b>50</b>	<b>2.2 Cadre et caisson</b>
50	2.2.1 Cadre
51	2.2.2 Caisson
51	2.2.3 Synthèses
<b>52</b>	<b>2.3 Accroche des modules</b>
<b>54</b>	<b>2.4 Matériaux</b>
54	2.4.1 Structure du bâtiment
54	2.4.2 Structure du module
55	2.4.3 Plaques fermant le module
55	2.4.4 Isolation du module
56	2.4.5 Revêtement du module
<b>59</b>	<b>2.5 Occupation pendant les travaux</b>
<b>60</b>	<b>2.6 Détermination des techniques</b>
<b>62</b>	<b>2.7 Gestion des différences de niveaux</b>
<b>63</b>	<b>2.8 Percement ou destruction de la dalle ?</b>
<b>64</b>	<b>Partie III</b>
	<b>Projet de fin d'étude</b>
<b>64</b>	<b>3.1 Cas d'étude</b>
<b>65</b>	<b>3.2 Contexte</b>
65	3.2.1 Le Quartier européen
66	3.2.2 Présentation du Master plan
72	3.3 Critères de sélection du bâtiment
<b>74</b>	<b>3.4 Immeubles auxquels appliquer la méthode proposée</b>
<b>75</b>	<b>3.5 Identité et revalorisation du quartier</b>
<b>76</b>	<b>3.6 Présentation du projet</b>
76	3.6.1 Projet
80	3.6.2 Flexibilité du bâtiment
81	3.6.3 Présentation des modules créés
86	3.6.4 Coefficient de transmission
87	3.6.5 Choix et dimensionnement des techniques de ventilation
90	3.6.6 Phasage des travaux
92	3.6.7 Manuel de démontage
93	3.6.8 Devenir de ma façade démontable zéro déchet
97	3.6.9 Estimation des surcoûts
<b>99</b>	<b>Conclusion</b>
<b>100</b>	<b>Annexes (Catalogue de références, interview)</b>
<b>138</b>	<b>Table des illustrations</b>
<b>141</b>	<b>Bibliographie</b>





# Introduction

---

Utilisé à la fin de la Seconde Guerre mondiale afin d'industrialiser le logement<sup>2</sup>, le principe de démontabilité en architecture constitue aujourd'hui une des réponses possibles à différents enjeux écologiques. En effet, les façades démontables zéro déchet (FDZD) sont un moyen de diminuer la production de déchets et de préserver une partie des matières et des énergies premières. Plus que de prolonger la vie des matériaux de façade, elles donneraient l'opportunité de prolonger la vie du bâtiment lui-même puisque celui-ci pourrait être rénové ou même voir son affectation changer sans pour autant être détruit.

Dans la première partie de ce mémoire, les différents enjeux des façades démontables zéro déchet seront explicités. Sur base des enjeux, le mémoire exposera l'utopie réalisable du travail qui est d'agir pour demain grâce aux façades démontables zéro déchet. Des définitions complètes seront données au point suivant. Ensuite, seront exposées les sources théoriques que sont les différentes pistes d'actions liées à cette manière de construire. Diverses références architecturales seront brièvement décrites et critiquées et constitueront les sources pratiques du travail.

Dans la deuxième partie, divers outils pratiques seront proposés afin de construire les façades de manière démontable et zéro déchet. Ces outils aborderont les dimensions des modules, les systèmes constructifs, les techniques et bien d'autres aspects.

La troisième partie du mémoire concerne le projet de fin d'études. Elle abordera le contexte du cas d'étude, les critères de sélection des bâtiments qui permettront de savoir à quels immeubles appliquer la méthode que je propose. Le projet sera ensuite exposé, ainsi que les modules démontables, leurs matériaux, le coefficient de transmission, les techniques mises en place, etc. Enfin, le rapport développera le phasage des travaux et le manuel de démontage, le devenir des modules et l'estimation des surcoûts et ce, avant de conclure.

---

<sup>2</sup> Dans les années 1950, Jean Prouvé industrialise des maisons démontables pour répondre à la pénurie de logements.



# Objectifs du travail de fin d'étude

---

## Travail théorique : retour critique de façades démontables zéro déchet

Selon Charlotte Cambier, architecte ingénieure dont le doctorat a pour thème les façades transformables, et l'ASBL Rotor, qui a pour objectif de sensibiliser, rechercher et déconstruire en vue du réemploi, l'un des obstacles à l'architecture démontable et au réemploi est le manque d'informations des architectes. Par conséquent, ce travail a pour but d'étudier des projets d'architecture intégrant la réalisation de façades démontables et zéro déchet, de les analyser de manière critique, de voir ce qui peut être repris mais également amélioré afin de mieux concevoir les façades des bâtiments dans le futur. Les obstacles et contraintes rencontrés lorsque l'on tente de conserver un maximum les bâtiments existants en déplaçant et intégrant les techniques en façade seront également étudiés afin de pouvoir développer des pistes de solutions. Ce travail ambitionne également d'offrir des conseils et des outils pour les concepteurs désireux de construire suivant le principe démontable et zéro-déchet. De manière plus large, il pourrait représenter un outil de réflexion incitant l'architecte à adapter sa manière de penser et de concevoir ses bâtiments selon des considérations environnementales. Ce mémoire vise donc à contribuer à la création d'une architecture plus responsable où les bâtiments seraient capables de s'adapter dans le temps sans destruction ni gaspillage de matières.



Figure 2 : « Chantier de démolition avec des piles de matériaux recyclables ayant une valeur faible ou nulle en tant que ressources pour les futurs bâtiments. ».  
Source: Guldager, Sommer, 2016.



# Partie I

## Etat des lieux

---

### 1.1 Enjeux

#### 1.1.1 Urgence écologique

##### Le secteur du bâtiment, grand émetteur de gaz à effet de serre

Depuis le début du 21<sup>ème</sup> siècle, alors que le changement climatique et la diminution des gaz à effet de serre sont devenus des questions centrales dans nos sociétés, les émissions de gaz à effet de serre n'ont fait qu'augmenter. Selon l'Agence américaine d'observation océanique et atmosphérique (NOAA) dans son « État du climat », les concentrations atmosphériques des principaux gaz à effet de serre dans le monde ont atteint en 2017 des taux qui n'avaient plus été enregistrés depuis plus de 800.000 ans. Et si cette augmentation est en grande partie due à la mondialisation de l'économie<sup>3</sup>, le secteur de la construction n'en reste pas moins un grand émetteur. En effet, il y a à peine une quinzaine d'années, la revue d'architecture Métropolis déclarait ceci : « Les architectes - ensemble avec l'industrie du bâtiment - sont responsables de la moitié de la consommation énergétique de l'Amérique et de la moitié de ses émissions de gaz à effet de serre, produits par la combustion du charbon, de l'essence et d'autres combustibles fossiles. »<sup>4</sup>. En Europe, la construction, la rénovation et l'utilisation des bâtiments étaient responsables de 40% des émissions de gaz à effet de serre -soit également près de la moitié- en 2015<sup>5</sup>.

##### Augmentation des déchets de construction

Le domaine de la construction représente plus d'un tiers de l'ensemble des déchets produits en Belgique selon une étude menée par Statbel en 2014<sup>6</sup>. Et cette quantité a doublé entre 2004 et 2012. D'après les auteurs de *Déconstruction et réemploi, comment faire circuler les éléments de construction*<sup>7</sup>, « un tas conique formé par l'équivalent de la production annuelle des déchets C&D<sup>8</sup> en Belgique s'élèverait jusqu'à près de 250 mètres de haut - bien plus haut que la grande pyramide de Gizeh ! ». Nos manières de construire actuelles s'inscrivent dans une économie linéaire qui engendre une quantité colossale de déchets. Un fait d'autant plus préoccupant lorsque l'on sait que les ressources naturelles de notre planète diminuent à grande vitesse.



Figure 3 : Notre économie linéaire mène à la destruction et au gaspillage.  
Source : schéma réalisé par l'auteur.

---

<sup>3</sup> Ghyoot, Devlieger, Villiers, Warnier, Rotor: 2018.

<sup>4</sup> Ghyoot, Devlieger, Villiers, Warnier, Rotor: 2018.

<sup>5</sup> Gobbo, 2015.

<sup>6</sup>Source : statbel : [statbel.fgov.be/nl/statistieken/cijfers/leefmilieu/afval/productie/](http://statbel.fgov.be/nl/statistieken/cijfers/leefmilieu/afval/productie/).

<sup>7</sup>Ghyoot, Devlieger, Villiers, Warnier, Rotor: 2018.

<sup>8</sup>C&D : Construction et Démolition.

## Finitude des ressources naturelles

Dans son livre *La poubelle et l'architecte*, l'architecte et professeur à l'Ecole nationale supérieure d'architecture de Grenoble Jean-Marc Huygen déclare : « La production de masse a apporté l'idée qu'il n'était plus utile de réemployer, qu'il fallait juste jeter pour consommer et consommer pour relancer l'économie. ». Mais depuis le 1<sup>er</sup> août 2018, nous vivons « à crédit » jusque fin 2018 selon l'ONG Global Footprint Network. En effet, depuis lors, l'humanité a dépensé la totalité des ressources que la nature est capable de renouveler annuellement. Cette date survient de manière de plus en plus précoce dans l'année. Toujours selon cet institut de recherche, la France aurait besoin d'environ 3 planètes telles que la nôtre afin de subvenir à ses besoins en évitant de solliciter les réserves naturelles. Si l'institut n'a pas fourni de chiffres pour la Belgique, nous pouvons supposer que ceux-ci doivent être très proches. La récente prise de conscience d'une planète où les ressources ne sont pas inépuisables nous pousse à modifier le comportement que nous avons pu avoir par le passé en essayant désormais de les économiser.

### 1.1.2 Démolitions fréquentes

Il y a divers facteurs qui engendrent la démolition des façades. Dans le livre *Déconstruction et réemploi, comment faire circuler les éléments de construction*<sup>9</sup>, il est expliqué que « Les éléments de construction sont évacués pour de très nombreuses raisons, et finalement assez rarement parce qu'ils arrivent au bout de leur vie technique. ». D'après l'ouvrage, les autres raisons de mise en rebut sont « l'évolution des exigences normatives, l'apparition de nouveaux produits présentant de meilleures performances ou encore le changement dans l'appréciation subjective qu'un propriétaire porte à son bien. ». Les changements d'affectation peuvent eux aussi mener au remplacement de la façade. Dans certains cas, ces démolitions peuvent également s'accompagner de la destruction du bâtiment dans son entièreté. Ces différents facteurs sont expliqués ci-dessous. De façon non exhaustive, différentes causes du remplacement des façades et/ou de la démolition des bâtiments sont énumérées ci-après.

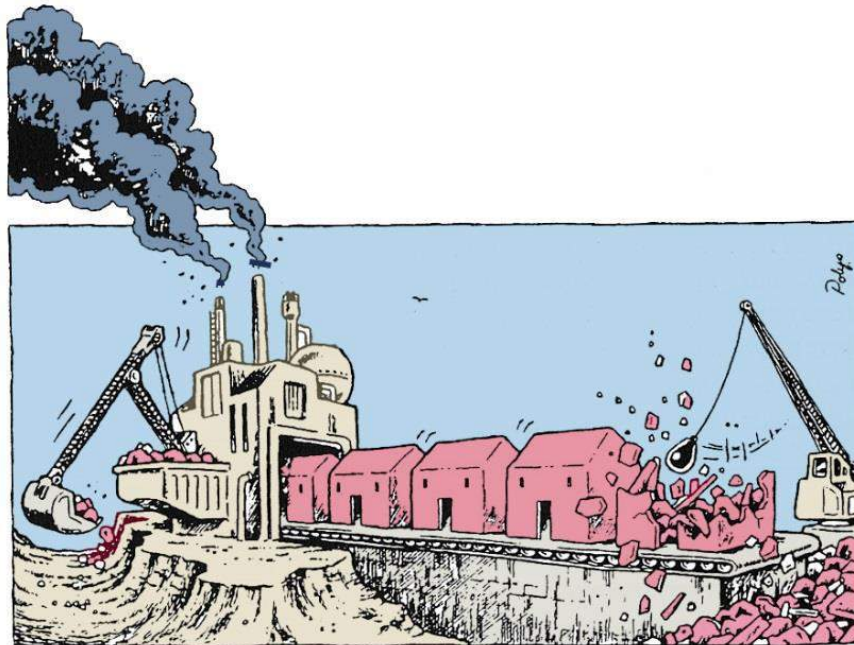


Figure 4: De la production à la destruction des bâtiments.  
Source : Cours de Matérialité et éco-conception LBARC 2061, 2017-2018.

<sup>9</sup>Ghyoot, Devlieger, Villiers, Warnier, Rotor: 2018.

## Evolution des techniques et des normes

« Afin d'empêcher que les édifices n'emprisonnent comme dans une "camisole de force" des activités en développement à l'intérieur, il faudrait qu'ils puissent être facilement adaptables. [...] La vie moyenne d'un édifice londonien approche des 75 ans. Cependant, il y a 75 ans, il n'y avait ni climatisation ni réseau téléphonique ni transport aérien. [...] L'électricité, l'ascenseur et les voitures étaient encore dans leur enfance. » remarque Richard Rogers, architecte lauréat du prix Pritzker en 2007. L'une des premières raisons des démolitions des bâtiments est le fait que les techniques évoluent très rapidement, et ces évolutions s'accompagnent d'une évolution des exigences normatives. Un autre enjeu majeur est la nécessité de rénover le parc immobilier ancien et énergivore pour améliorer ses performances énergétiques et cela implique notamment d'agir sur l'enveloppe et par conséquent sur les façades<sup>10</sup>. Selon Stewart Brand dans son livre *How Buildings Learn*, l'enveloppe se renouvelle tous les 15 à 20 ans et les techniques telles que la plomberie, le chauffage et la climatisation changent tous les 7 à 15 ans. Anders Böhlke dans le livre *Bureaux du passé, habitants du présent* sorti en 2013 soutient également qu'un bureau serait considéré comme obsolète après 15 ans. Tous ces chiffres sont extrêmement préoccupants lorsque l'on sait que l'architecture, si elle est conçue de manière rigide, ne supporte pas le changement des besoins dans le temps, et que la structure, quant à elle, a une durée de vie bien plus longue oscillant entre 30 à 300 ans. L'impact environnemental de la fabrication ne justifie pas un remplacement si rapide<sup>11</sup>.

Il est à noter que malgré ces chiffres, la destruction des bâtiments ne respecte pas de durée précise et que celle-ci se fait de manière imprévisible sous l'influence de divers facteurs tels que la conjoncture économique, la vente du bien, les effets de mode, etc.

## Evolution de la mode et des goûts

Une autre raison au renouvellement des façades est l'évolution de la mode. La façade est le reflet extérieur d'un bâtiment, elle peut être l'image de la firme ou de la famille que le bâtiment abrite. Elle répond souvent à la mode d'une époque, aux goûts d'un client ou d'un architecte. Ces facteurs sont très subjectifs. Une façade considérée comme magnifique dans les années 70 peut aujourd'hui nous paraître démodée au point de mener à son remplacement partiel ou total.

## Evolution des affectations

« Tous les bâtiments sont des prédictions. Toutes les prédictions sont fausses. On ne peut échapper à ce syllogisme sinistre, mais il peut être adouci. » dit Stewart Brand dans *How Buildings Learn*. Tous les bâtiments ont été conçus pour répondre aux besoins bien précis d'une époque, parfois en essayant d'anticiper les besoins du futur, sans jamais complètement y arriver. Si la façade n'a pas été conçue en tenant compte d'un changement possible de l'affectation dans le temps, il est probable que sa destruction soit plus rentable<sup>12</sup>, alors même que les matériaux sont encore tout à fait sains.

### 1.1.3 Obstacles

Aujourd'hui, après des siècles de démontage en vue du réemploi, construire de manière démontable et zéro déchet est un acte marginal. La plupart des constructions présentent des assemblages humides, utilisant des liants ou mortiers lors de la mise en œuvre qui nécessitent un temps de prise ou de séchage. Ils rendent le réemploi difficile voire impossible dans certains cas. De nombreuses constructions sont en béton ou présentent de la mousse isolante, utilisent

---

<sup>10</sup>J'emprunte cette idée à ma promotrice, Emilie Gobbo.

<sup>11</sup>J'emprunte cette idée à ma promotrice, Emilie Gobbo.

<sup>12</sup>Je reprends cette idée exposée par Sabine Léribaux lors d'une entrevue le mercredi 12 décembre 2018.



du crépi sur isolant (rendant tout recyclage difficile) ou autres matériaux peu écologiques. L'emploi de ce type de matériaux et assemblages plutôt que d'autres combinés aux principaux freins du réemploi relayant la démontabilité au second plan sont expliqués ci-dessous.

### **Coût de la main-d'œuvre**

Les principaux obstacles au démontage en vue du réemploi et à l'architecture démontable sont des facteurs économiques. Si le réemploi et la démontabilité étaient des pratiques répandues il y a encore quelques dizaines d'années, plusieurs combinaisons de facteurs l'ont marginalisée au fil du temps, à commencer par le coût de la main d'œuvre. Le coût élevé de la main d'œuvre et la complexité des assemblages démontables conduisent à un coût initial plus élevé que la plupart des constructions traditionnelles d'aujourd'hui. Selon l'ASBL Rotor dans son ouvrage *Déconstruction et réemploi, comment faire circuler les éléments de construction*, « c'est précisément la mécanisation et l'objectif de se passer d'une main-d'œuvre devenue trop coûteuse qui ont relégué le réemploi au rang des pratiques marginales. Des assemblages et matériaux, moins chronophages et moins chers, se sont imposés sur le marché au détriment de leur qualité et de leur recyclabilité. Les nouvelles pratiques de démolition sélective modifient déjà cette tendance puisque les obligations de recyclage nécessitent un travail plus fin au niveau du traitement différencié des fractions ».

### **Coût du stockage**

Le démontage des matériaux de construction en vue du réemploi demande des espaces importants de stockage, de dépôt et de reconditionnement. Or, à Bruxelles qui comme beaucoup de cités est une ville assez dense, le coût d'un espace important est plus élevé que le coût d'un recyclage ou de la destruction des matériaux.

### **Manque de formation et d'information**

Toujours selon Rotor, un autre frein au réemploi et à l'architecture démontable est le manque de prévoyance des architectes lors de la conception et le manque de formation et d'information des ouvriers, entrepreneurs et habitants. Un bâtiment qui n'est pas conçu pour être démontable présente des assemblages et matériaux compliqués à démonter et réemployer, surtout lorsque les ouvriers et entrepreneurs ne sont pas habitués à déconstruire. Les citoyens manquent tout autant d'information et ne sont pas assez sensibilisés à la richesse des opportunités d'une architecture démontables et à la richesse que représentent les matériaux de construction. Ils sont peu habitués à se projeter sur le long terme lors de la construction d'une habitation, et sont souvent découragés par un coût initial plus élevé qu'une construction traditionnelle. Le rôle de l'architecte dans ce cas-ci devrait être de leur montrer le potentiel de l'architecture démontable dans le futur, mais seul un faible nombre est réellement sensibilisé à cette manière de construire.

### **Le manque de stabilité de l'offre dans le temps<sup>13</sup>**

« Lorsqu'un projet recourt à des produits standards et issus d'une production en série continue, il est assez évident de garantir que les éléments constructifs choisis au moment de la conception seront toujours disponibles sur le marché pour la réalisation. », explique Rotor dans son ouvrage précité. Au contraire, les matériaux issus du réemploi sont plus rares, différents selon chaque chantier et présents en quantités et délais aléatoires. Comme cité ci-dessus, le coût du stockage peut être assez élevé étant donné la densité et le peu d'espace disponible en région bruxelloise, d'autant que la durée entre la phase de conception et la réalisation du chantier peut durer plusieurs années. De plus, il est souvent impossible de garantir la stabilité de l'offre dans le temps.

---

<sup>13</sup>Je reprends cette idée au livre de Ghyoot, Devlieger, Villiers, Warnier, Rotor, 2018.

## **Le manque de législation**

Bien que des règlements sur le recyclage des débris de construction aient fait leur apparition à partir des années 90, il n'existe encore aucune obligation quant au réemploi des matériaux. De plus, la législation est encore très floue concernant le statut des matériaux issus du réemploi, et la fin du statut de déchet en général, ce qui n'encourage pas forcément ces pratiques. Une réglementation plus stricte et plus claire permettrait de diminuer davantage la production de déchets et encouragerait l'architecture démontable en vue du réemploi.

### **1.1.4 Enjeux économiques**

#### **Espaces de bureaux vides à Bruxelles**

Depuis plusieurs années, les immeubles de bureaux vides représentent le plus gros potentiel de reconversion du bâti bruxellois. Le taux de vacance était estimé à 7,9% en 2013 soit plus de 13 millions de m<sup>2</sup> inoccupés, d'après Anders Böhlke dans son ouvrage précité. Selon le bureau Architectes Associés, « Le centre-ville de Bruxelles se caractérise par un grand nombre d'immeubles de bureaux obsolètes construits il y a 30 ou 40 ans, dont beaucoup sont toujours occupés malgré les conditions déplorables, tandis que d'autres attendent avec impatience de nouveaux locataires. ». Le directeur général de la Confédération flamande de la construction, Marc Dillen, explique effectivement ce taux de vacance par la migration des entreprises loin des problèmes de mobilité de Bruxelles mais surtout par l'évolution des exigences au cours du temps. L'observatoire des bureaux confirme ses dires pour le quartier Léopold, soulignant que « Peu d'entreprises, sans grande relation avec l'UE, s'ajouteront à celles existantes. L'administration belge pourrait quant à elle céder, avec le renforcement de la régionalisation du pays, ses bâtiments pour d'autres localisations hors Bruxelles »<sup>14</sup>. Selon Nathalie Renneboog, directrice Programmation, Budget et études et Rénovation urbaine chez citydev.brussel, beaucoup d'immeubles construits à partir des années 70 présentent une hauteur sous plafond inférieure à 2,7 mètres, ce qui les rend difficile à reconverter. En effet, les immeubles construits de nos jours présentent généralement une hauteur sous dalle de 3,3 mètres afin d'intégrer sans problème les 60 cm de techniques requis en faux plafond ou plancher, ce qui est impossible dans le cas des bâtiments bas de plafond des années 60-70.

#### **Demande de logements dans la capitale**

« Entre 1970 et 2005, on a construit beaucoup trop peu de logements à Bruxelles. », explique Nathalie Renneboog. Aujourd'hui, l'augmentation de la population engendre une forte demande de logements, dans une ville où de nombreux espaces de bureaux sont totalement vides. Selon Bruxelles Environnement, cette progression démographique se chiffre à presque 15 000 habitants par an, et ce depuis 2000<sup>15</sup>. La démontabilité et l'intégration des techniques en façade permettraient, comme expliqué plus loin, de rénover des immeubles vacants bas de plafond afin de répondre à ce besoin.

#### **Taux de chômage**

Un enjeu plus secondaire est le taux de chômage dans certaines villes belges et dans certaines communes de Bruxelles. En 2018, Bruxelles présentait un taux de chômage de 15,9% et comptait à peine moins de 90 000<sup>16</sup> chercheurs d'emploi. Des chiffres intéressants lorsque l'on connaît l'important besoin de main d'œuvre que demandent le démontage et le réemploi.

---

<sup>14</sup> Citydev Brussels, l'Observatoire des bureaux n°31, 2012, p 32.

<sup>15</sup>Source : Bruxellesenvironnement, L'évolution démographique en Région bruxelloise, 2011-2012. Je reprends ces chiffres du TFE de Julie Merschaert.

<sup>16</sup>Source : Actiris : [https://didiergosuin.brussels/sites/default/files/communiqués-de-presse/avril\\_2018\\_-le\\_taux\\_de\\_chomage\\_a\\_bruelles\\_au\\_plus\\_bas\\_depuis\\_25\\_ans.pdf](https://didiergosuin.brussels/sites/default/files/communiqués-de-presse/avril_2018_-le_taux_de_chomage_a_bruelles_au_plus_bas_depuis_25_ans.pdf).

## 1.2 Utopie : Agir pour demain

Sur base des enjeux précités, l'utopie réalisable proposée dans ce travail est de développer, améliorer et pousser la reproductibilité de façades démontables zéro déchet. Les chapitres ci-après développent les propositions et réponses aux enjeux qu'elles représentent.

### 1.2.1 « Construire pour déconstruire »

L'hypothèse que je propose est de rénover les façades en les pensant démontables et zéro déchet dès la conception. Selon l'ouvrage *Design and Detailing for Deconstruction*, « La conception de détails pour la déconstruction au début d'un projet permet à un bâtiment, à la fin de sa durée de vie utile, d'être la ressource pour le suivant et aide à *boucler la boucle* pour l'utilisation des ressources ». De cette manière, chaque façade pourrait être déconstruite et les matériaux pourraient être récupérés à plusieurs reprises soit pour reconstruire sur place, soit pour reconstruire ailleurs. La structure des bâtiments serait conservée et pourrait accueillir plusieurs affectations au cours de ses différents cycles de vie. Recycler ne se ferait qu'en dernier recours, de même qu'aller puiser de nouvelles ressources. Le marché du réemploi serait beaucoup plus usuel que de nos jours, et s'effectuerait de manière locale. Dès le moment où nous vivons dans un monde sans déchets de construction, tout matériau de réemploi deviendra précieux.

### 1.2.2 Généralisation

Le terme « généraliser » s'applique de deux manières différentes : d'une part, essayer de pousser les architectes à ce que chaque façade de bâtiment soit construite ou rénovée en respectant le principe de la démontabilité, et, d'autre part, que des bâtiments de bureau habituellement détruits soient rénovés à l'aide de cette manière de construire.

La première manière s'exprimera plutôt de manière théorique. L'objectif est de donner des conseils et des moyens afin d'intégrer plus facilement la démontabilité dans un projet. Cela permettrait que les façades démontables zéro déchet deviennent une manière de construire courante. L'analyse d'exemples déjà construits permettra de développer des manières de faire types et d'élaborer des conseils.

Et la deuxième manière de généraliser les façades démontables est de tenter de les appliquer à tous les bâtiments et premièrement à des immeubles qui sont habituellement détruits car conçus de manière moins flexible. Des millions de mètres carrés d'immeubles de bureau sont actuellement vacants. Ceux présentant une structure encore saine mais une faible hauteur sous plafond sont malheureusement souvent démolis. Une façade démontable intégrant des techniques pourrait leur être appliquée afin d'éviter leur destruction. En effet, placer les techniques en façade plutôt que dans un faux plafond permet d'en conserver la hauteur sans la diminuer et d'accueillir des fonctions mixtes. Des quartiers entiers pourraient être rénovés grâce à cette manière de faire types et des bonnes pratiques.

### 1.2.3 Amélioration

Actuellement, peu de façades sont démontables et encore moins zéro déchet. Quelles sortes d'assemblages sont les plus pertinentes ? Les plus démontables, les plus durables, les plus rapides et faciles à mettre en œuvre ? Quels sont leurs inconvénients et leur prix ? Pour répondre à ces questions, ce travail propose d'étudier différents projets existants intégrant cette approche de façades à travers une grille de critères. De cette manière, une série de conseils, de manières de construire, d'assemblages et de matériaux pourraient être préconisés. Sur base de cette analyse et en confrontant l'ensemble des informations collectées, j'aimerais améliorer et perfectionner les solutions de FDZD.

## 1.3 Définitions

Construire démontable et zéro déchet est actuellement une pratique marginale, les définitions proposées ci-après sont par conséquent des définitions développées par l'auteur sur base d'ouvrages et des exemples construits analysés.

### 1.3.1 Façade démontable

Il s'agit d'une façade dont les différentes couches, depuis la finition intérieure jusqu'au parement extérieur, peuvent être désassemblées et réassemblées à nouveau, et dont les différents matériaux pourraient être réemployés sur la façade même, sur une autre façade ou encore dans un autre bâtiment. Afin de s'inscrire dans le développement durable et de répondre aux enjeux environnementaux actuels, elle doit être « zéro déchet ».

### 1.3.2 Façade zéro déchet

Une façade zéro déchet doit être fabriquée à partir de matériaux de réemploi ou écologiques pouvant eux-mêmes être réemployés en fin de vie de la façade. Une faible quantité de matériaux recyclables est autorisée. En effet, les membranes pétrochimiques ne peuvent totalement être évitées afin de parvenir à de bonnes performances d'étanchéité pour le bâtiment. Il existe cependant des membranes d'étanchéité à l'air 100% recyclables réalisées à base de matières végétales telle la membrane Derbiskin développée par Derbigum. Les fixations métalliques sont, elles aussi, autorisées afin de fixer les modules à la structure, ainsi que la mousse isolante seulement et uniquement pour les jonctions entre les châssis et les murs. Les châssis sont en bois ou en bois-aluminium, afin de pouvoir être réemployé ultérieurement en tant que parquet<sup>17</sup>. Les joints de silicone pour les châssis sont également actuellement difficilement évitables.

### 1.3.3 Réemploi, réutilisation et recyclage

Selon l'architecte Jean-Marc Huygen dans son ouvrage précité, le réemploi est « l'acte par lequel on donne un nouvel usage à un objet existant tombé en désuétude, c'est-à-dire qui a perdu l'emploi pour lequel il avait été conçu et fabriqué ». Les matériaux de réemploi sont donc de la matière dont l'usage est obsolète et qui trouve un nouvel usage.

Il est nécessaire de distinguer *réemploi*, *réutilisation* et *recyclage*. La réutilisation consiste à prolonger l'usage et la mémoire de tout objet abandonné. Le recyclage, quant à lui, consiste à trier puis transformer des objets ou matières abandonnés. Le réemploi se situe entre la réutilisation et le recyclage. La réutilisation nécessite une très faible consommation d'énergie alors que le recyclage nécessite une dépense d'énergie plus importante et engendre souvent une perte partielle de la matière et une perte de mémoire de l'objet premier. Plus économe que le recyclage, le réemploi considère l'objet désuet comme une matière première. Il a pour but de produire le minimum possible de chutes. Il faut d'abord employer le matériau avec sa plus grande dimension, puis utiliser les chutes, et enfin penser à recycler la matière restante.

Une fois que les nouveaux objets issus du réemploi arrivent en fin de vie, il convient de les réemployer à nouveau avant d'envisager le recyclage. Afin que la possibilité de réemploi soit optimale, il faut bien sûr la plus grande réversibilité qui soit (au niveau des assemblages par exemple), tout en gardant en tête que, tôt ou tard, l'objet se dégradera de manière irréversible et sera désuet. Le réemploi privilégie les techniques nécessitant peu d'énergie lors de leur mise en œuvre sur chantier, et les matériaux dont le recyclage est aisé en fin de vie.

---

<sup>17</sup>Je reprends cette idée au livre de Ghyoot, Devlieger, Villiers, Warnier, Rotor, 2018.

## 1.4 Sources théoriques et expériences

### La démontabilité, clé de la façade zéro déchet

Dans le contexte et face à l'urgence des enjeux exposés au point 1.1, les façades démontables présentent des éléments de réponse tout à fait intéressants. Elles proposent également des pistes d'action. Nous nous proposons de passer ces éléments en revue ci-après.

#### 1.4.1 Eléments de réponse apportés par la démontabilité

##### Economie d'énergie

Les façades démontables zéro déchet permettraient de réemployer et par conséquent d'économiser de l'énergie (énergie de la production de nouveaux matériaux ou encore du traitement des déchets) et de réduire les gaz à effet de serre. En effet, si l'on part du constat posé par Jean-Marc Huygen, dans son ouvrage *La poubelle et l'architecte*, l'énergie la moins coûteuse et la moins polluante est celle de notre matière grise. L'auteur y explique que la dépense d'énergie de notre cerveau est dérisoire par rapport à celle affectée à la construction. Notre ingéniosité serait donc un « économiseur d'énergie » non négligeable. Il explique qu'il existe plusieurs niveaux dans la mise en œuvre de la matière. Le premier niveau, qui ne nécessite pas réellement d'énergie, est celui de la conception d'un projet. Le deuxième niveau est l'expression de la pensée, lequel s'accompagne d'une dépense d'énergie et de matière un petit peu plus importante pour réaliser un croquis. Le troisième niveau est celui de la confrontation avec l'environnement ; il consiste à prendre le point de vue des autres, à vérifier les disponibilités et les possibilités, à réaliser une maquette à échelle réduite. Enfin, le dernier niveau est celui de la construction définitive. Si le moment passé à réfléchir aux assemblages démontables représente un temps plus important que pour une conception classique, l'énergie dépensée lors de cette étape est bien moindre comparée à celle que l'on peut épargner en démontant et en réemployant. Cela permet d'éviter des étapes extrêmement énergivores telles que l'extraction, la production et le traitement des matériaux obsolètes.

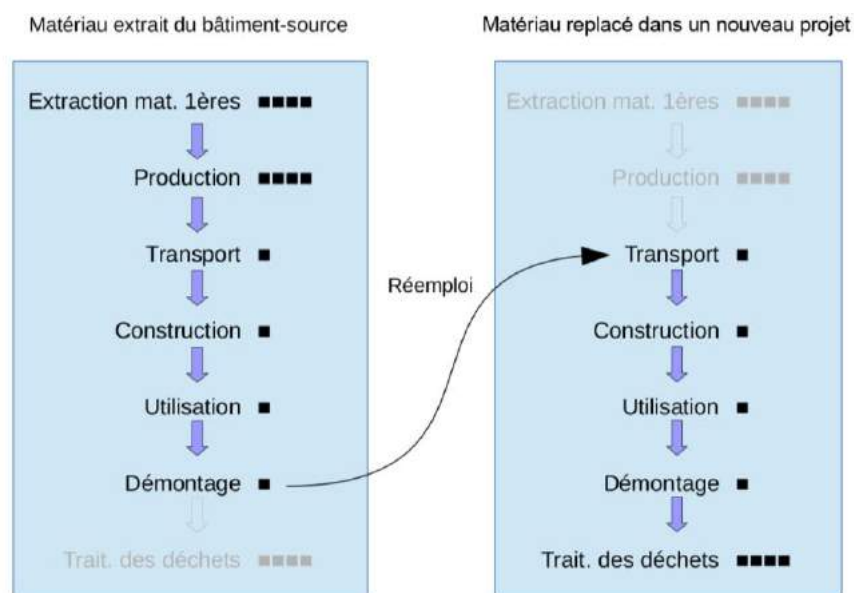


Figure 5 : Le démontage afin d'éviter l'extraction, la production et le traitement des déchets.

Source : [http://www.vademecum-reuse.org/Vademecum\\_extraire\\_les\\_materiaux\\_reutilisables-Rotor.pdf](http://www.vademecum-reuse.org/Vademecum_extraire_les_materiaux_reutilisables-Rotor.pdf).

## Bénéfice environnemental

Si dans certains cas le réemploi coûte le même prix que dans une situation où il n'est pas pris en compte, c'est loin d'être toujours le cas. Le réemploi reste relativement cher selon Rotor. Mais si l'on change de point de vue, et que l'on regarde les coûts environnementaux de l'énergie fossile, il se justifie amplement. En effet, si aucun bénéfice ne peut être réalisé dans certains cas, ou même que le réemploi local engendre une perte financière, ce n'est rien comparé aux désastres environnementaux engendrés par une rénovation ou une destruction classiques. Comme dit plus haut, un bureau est considéré comme obsolète en moyenne au bout de 15 ans. Si l'on tient compte de ce taux de renouvellement sur une période de 45 ans, une façade démontable permettrait de démonter et de réemployer trois fois les matériaux, au contraire d'une rénovation normale qui gaspillerait trois fois des matériaux en les jetant pour les remplacer par de nouveaux.

## Elimination des déchets de construction

Plutôt que de jeter les matériaux lors d'une rénovation ou d'une démolition, les matériaux de façades démontables pourraient être démontés, reconditionnés, et stockés avant d'être réemployés sur place ou ailleurs. En passant d'une économie linéaire à une économie circulaire, de nombreux matériaux pourraient être sauvés et ainsi diminuer l'impressionnante quantité de déchets de construction. De plus, la rénovation de bâtiments existants permet la sauvegarde de la structure. Et si « Le meilleur déchet est celui qui n'existe pas »<sup>18</sup>, la préservation de celle-ci évite une masse de déchets colossale. Comme dit plus haut, la structure, si elle est bien conçue et préservée de dégradations ou désordres éventuels, peut présenter une durée de vie de plusieurs décennies voir de plusieurs siècles. De plus, la préservation de la structure peut permettre de diminuer les coûts par rapport à une construction neuve.

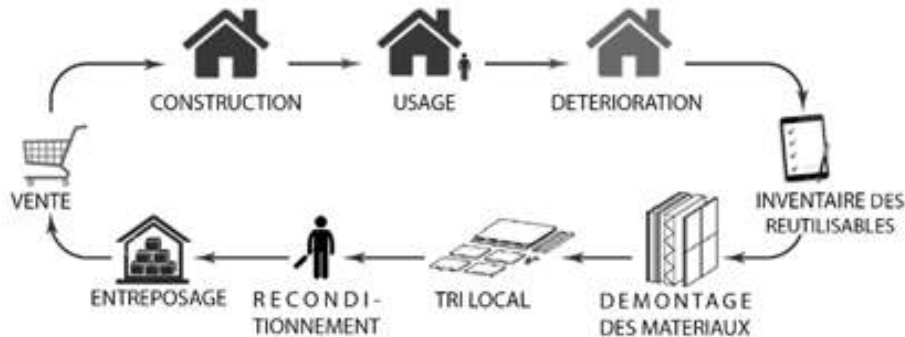


Figure 7 : Manière de construire s'inscrivant dans l'économie circulaire.  
Source : schéma réalisé par l'auteur. Source de certaines images : Paduart, 2012.

## Diminution de l'exploitation des ressources premières

Comme dit plus haut, la conscience d'un environnement fini va entraîner la modification de nos manières de construire. « Être respectueux de la terre et la protéger, c'est aujourd'hui une nécessité. », écrit Jean-Marc Huygen. À l'ère du recyclage et des mouvements zéro déchet, les façades démontables permettraient aux matériaux d'être récupérés après démontage et ainsi bénéficier d'une seconde vie dans le domaine de la construction ou dans tout autre domaine où il trouverait une utilité, avant d'être recyclé. Cela rallonge la durée de vie des produits et matériaux et permet par conséquent d'économiser de l'énergie mais surtout de la matière première liées à la production de nouveaux matériaux. Le réemploi représente donc une source

<sup>18</sup> Source : La revue durable, 2006.

de matériaux durables. L'une des pistes d'action sera par conséquent de favoriser un système où il ne faut plus solliciter l'environnement mais bien puiser dans l'existant.

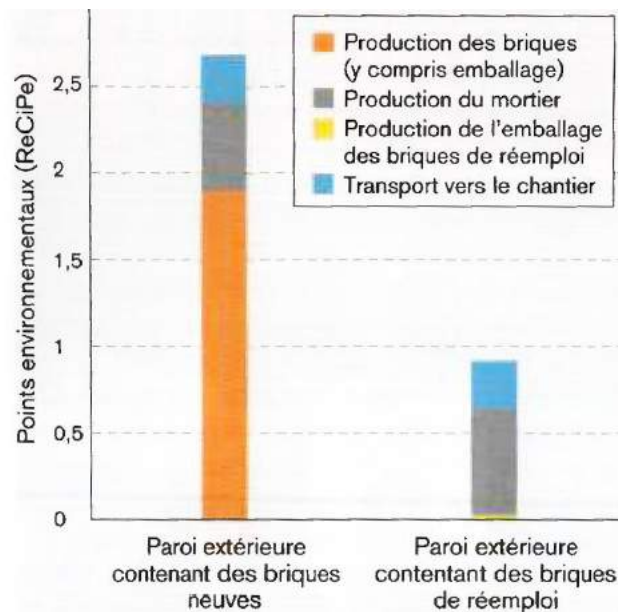


Figure 6 : Cycle de vie pour une brique neuve et pour une brique issue du réemploi : importance de la production.  
Source: CSTC : <https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=bbri-contact&pag=Contact26&art=388>.

### Augmentation de la durée de vie des bâtiments et de ses composants

«Le cycle de vie des immeubles tend donc à devenir un outil d'analyse intéressant. Il témoigne du phénomène de reconstruction de la ville sur la ville et du fait que les espaces disponibles sont de plus en plus rarement des terrains vierges et davantage des bâtiments ou des friches. Face à une telle situation, l'une des préoccupations des années à venir sera de développer des outils urbanistiques adéquats garantissant des solutions de réaffectations ou reconversions appropriées<sup>19</sup> ». Selon Stewart Brand, le fait de construire des façades démontables avec des couches successives indépendantes les unes des autres permet une grande adaptabilité dans le temps, tant au niveau de l'évolution des techniques, que de la mode ou encore de l'usage et des changements d'affectation. Elle permet des remplacements, modifications et réutilisations plus aisés au cours du temps et donc d'augmenter la durée de vie des façades en évitant leur destruction mais également celle des bâtiments qui sont alors prêts à supporter le changement.

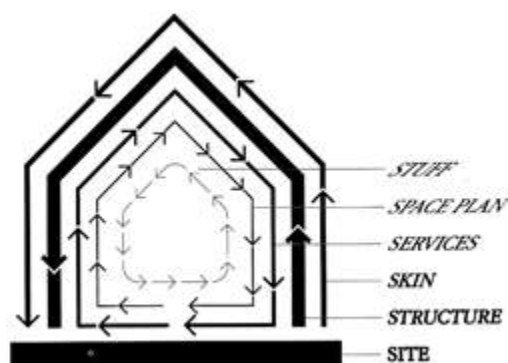


Figure 8 : Les différentes strates d'un bâtiment. Source : Brand, 1994.

<sup>19</sup> Source : C. LASSERRE, *Des bureaux pour toujours ? Reconversion au long cours in Bruxelles, ses bureaux, ses employés*, Numéro spécial de l'Observatoire des bureaux, p 11, 2013. Je reprends cette citation après avoir lu le TFE de Julie Meschaert.

- Evolution possible des techniques

La caractéristique démontable et adaptable est très utile dans le domaine des immeubles à appartements ou des logements collectifs, mais aussi dans les complexes de bureaux, les musées et les hôpitaux. En effet, les installations techniques y sont souvent plus nombreuses ou plus complexes que dans une maison unifamiliale. Selon le guide pour l'Ecosse « *Design and detailing for deconstruction* », « Les services doivent être soigneusement planifiés pour optimiser les possibilités de déconstruction, car ils seront inévitablement remplacés plusieurs fois au cours de la vie d'un bâtiment moyen ». Par « services », l'ouvrage entend la ventilation, l'alimentation en eau, l'éclairage, etc. Si ces installations doivent évoluer, le bâtiment pourra être conservé grâce à l'accessibilité ainsi que la réversibilité des assemblages qui permettent la démontabilité des éléments en vue de leur remplacement. Celui-ci est dû à divers facteurs : fin de durée de vie des techniques, mise à jour, renouvellement, remplacement, réparation... Toujours selon l'ouvrage « *Design and Detailing for Deconstruction* », la démontabilité d'un bâtiment peut avoir pour avantage de « minimiser les coûts de maintenance et de mise à niveau liés aux exigences de remplacement » mais aussi de « réduire le risque de pénalités financières à l'avenir, en raison de l'évolution de la législation, grâce à des éléments de construction facilement remplaçables ». En cas d'évolution des normes concernant aussi bien les techniques de ventilation, d'isolation ou autre, le bâtiment pourra facilement s'adapter.

- Changement aisé de revêtement extérieur et autres matériaux de façade

Comme dit plus haut, les façades sont l'image d'un bâtiment et sont par conséquent susceptibles d'être modifiées régulièrement. Sabine Lériveau, attire l'attention sur le besoin d'être humble en tant qu'architecte<sup>20</sup> et de prendre pour hypothèse que notre façade ne sera pas éternelle. Si le propriétaire souhaite changer son revêtement de façade au bout d'une vingtaine d'années car il n'est plus au goût du jour, ce changement peut se faire sans destruction d'aucun matériau en enlevant simplement la couche extérieure de l'édifice. De plus, il arrive lors de certains chantiers que les modules de façades soient abîmés au point de devoir les remplacer, ou qu'une erreur sur chantier engendre des malfaçons. Selon Thierry Foucart, président de l'entreprise de façades Kyotech, la démontabilité peut s'avérer très utile même dans le cas d'un chantier voisin qui pourrait endommager la façade de l'immeuble démontable (coup dû à une mauvaise manœuvre, à une chute de matériaux, etc.). Dans le cas d'un incendie (cf. projet Greenbizz d'Architectes Associés), les modules démontables ponctuellement abîmés peuvent aisément être remplacés et leurs composants réemployés, ce qui évite une perte de matière mais également une perte d'argent. Dans le cas d'un défaut de mise en œuvre (cf. Circular Retrofit Lab à la VUB), les modules peuvent également être démontés afin de remédier facilement au problème.

- Evolution de l'usage au cours du temps

Comme l'a dit Stewart Brand dans *How Building Learn*, la répartition intérieure des espaces change fréquemment au fil du temps, soit environ tous les 3 à 5 ans. Si la façade n'est pas conçue pour s'adapter, elle pourrait entraver ces évolutions nécessaires. Dans le cas d'un changement d'affectation, la démontabilité permettrait de changer facilement les emplacements des baies si besoin, ou de rendre possible un cloisonnement différent de celui d'origine. Cette manière de construire pourrait également permettre de mieux répondre aux besoins d'un quartier dans le temps. Si le bâtiment intègre une fonction mixte de logement et de bureaux par exemple, il pourrait s'adapter plus facilement selon la demande.

---

<sup>20</sup> Entrevue avec Sabine Lériveau du 12 décembre 2018.



## 1.5 Pistes d'action

### 1.5.1 Sensibilisation, information et formation

Comment reconsidérer à nouveau un bâtiment existant non plus comme un tas d'encombrants mais comme une future banque de ressources ? Plusieurs choses peuvent être mises en place afin de sensibiliser les différents acteurs de l'acte de bâtir et de revaloriser le réemploi et le démontage des matériaux.

#### Sensibilisation des architectes

Les architectes ont un rôle clé à jouer auprès des maîtres d'ouvrage. En effet, s'ils étaient informés et sensibilisés à une architecture plus démontable employant des matériaux durables, ils pourraient proposer des solutions alternatives à une construction classique à leur client. Ces derniers ignorent sans doute par exemple que lors de la construction d'un bâtiment, le coût initial correspondant à la construction ne représente qu'un faible pourcentage du coût total de l'édifice<sup>21</sup>, tout le reste correspondant à de la transformation, de la rénovation, etc. Ainsi, selon le guide « Design and detailing for deconstruction », « Une grande partie des déchets générés par la construction ne proviennent pas de la démolition de bâtiments complets, mais de processus incrémentiels : rénovation, modernisation, aménagements afin de refléter les changements organisationnels, l'usure ou les intempéries et des composants arrivant à la fin de leur durée de vie. ». Dans le cas d'une habitation, la famille peut s'agrandir, changer de manière de travailler avec le *home-working*, ou accueillir plusieurs entités familiales. Dans le cas d'un bâtiment de bureaux ou de logements, ceux-ci peuvent changer d'affectation au cours du temps. Si l'architecte les invite à se projeter à long terme grâce à une construction démontable, un plus grand nombre de bâtiment zéro déchet verrait le jour. Afin de concrétiser cet objectif, des formations gratuites et une sensibilisation dès l'université pourraient se mettre en place.

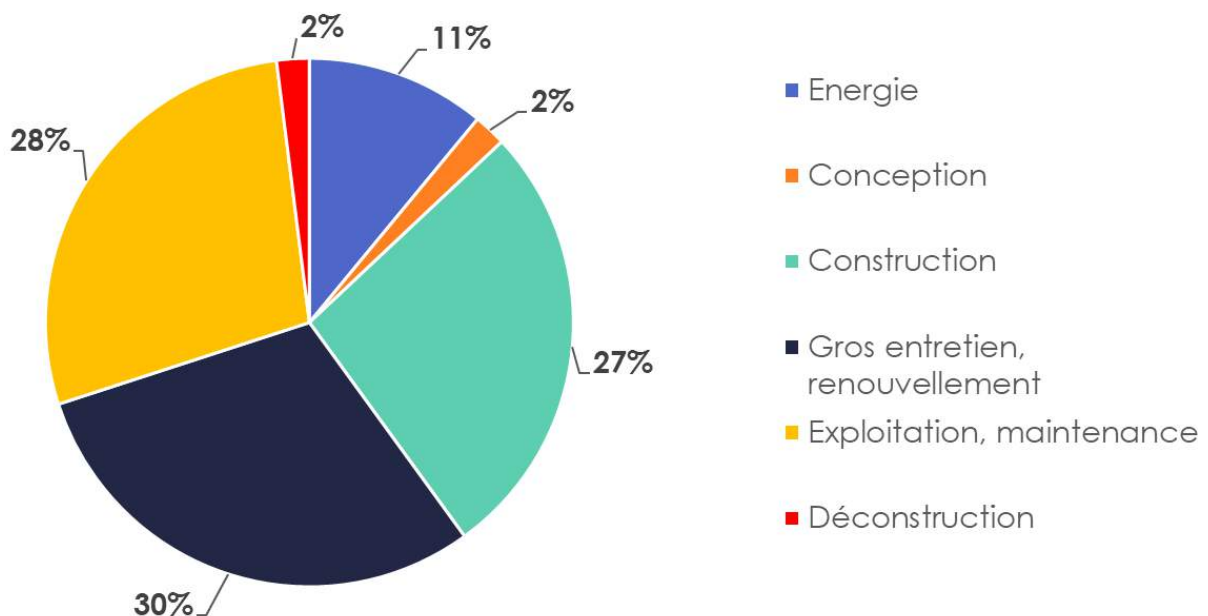


Figure 9 : Répartition du coût global d'un bâtiment sur 50 ans (exemple d'un lycée).  
Source : entrevue avec Gaëtan Duyckaerts des Ateliers de l'Avenir.

<sup>21</sup> Source: entrevue avec Gaëtan Duyckaerts aux Ateliers de l'Avenir.

## **Formation et sensibilisation des entrepreneurs et ouvriers**

La connaissance du démontage est nécessaire afin de garantir le démantèlement d'une façade zéro déchet en fin de vie. A Anderlecht, le CDR ouvre la voie de la formation en créant un centre dédié au réemploi des matériaux issus de la construction. Le local de formation au démontage et reconditionnement présente des fiches pratiques disponibles pour tous qui pourront être mises en pratique sur des petites cellules. Ces cellules permettent d'expérimenter le démontage de nombreux domaines de la construction. L'EFP a elle aussi développé une formation similaire où un module permet aux ouvriers et étudiants de s'exercer. L'IBGE organise quant à elle des formations pour professionnels du secteur et encourage la pratique du réemploi à travers le PREC et les appels à projets BE Circular<sup>22</sup>. Si ces initiatives sont un bon début, d'autres centres de formation devraient se développer à plus grande échelle afin de former plus d'acteurs de la construction.

### **Création d'expositions, de réalisations, de conférences...**

Rotor, le CSTC, Bruxelles Environnement et d'autres acteurs du réemploi participent au changement d'opinion qui consiste à ne plus considérer ces matériaux comme des déchets mais bien comme des ressources ayant de la valeur. Pour ce faire, ils organisent des expositions, des appels à projet et des projets pilotes à base de matériaux de réemploi, des conférences et des séances d'information.

### **« La législation comme moyen de promouvoir la déconstruction »<sup>23</sup>.**

Selon le Guide pour la déconstruction de la Finlande, « Une législation accrue encouragerait une réduction des déchets de démolition et une augmentation du recyclage ». Si la législation imposait également un taux de déchet bien plus restreint, le réemploi serait davantage favorisé. Et toujours selon ce guide, « la plupart des lois ne mentionnent simplement pas la déconstruction, mais certains sont en passe de le décourager ». Une législation plus claire concernant les matériaux de réemploi issu du démontage protégerait les différents acteurs et les encouragerait à en faire usage. Rendre obligatoire les inventaires pré-démolition comme expliqué ci-dessous permettrait également de sensibiliser plus de monde à ces pratiques.

## **1.5.2 Outils théoriques**

### **Inventaire pré-démolition des réemployables**

On peut trouver un exemple plus lointain de sensibilisation et de conscientisation des habitants au réemploi à Seattle aux Etats-Unis. Selon Rotor, la ville a créé un nouveau règlement demandant d'établir un inventaire des matériaux dans tout bâtiment de plus de 70m<sup>2</sup> destiné à la rénovation ou à la démolition. L'objectif est que les propriétaires se rendent compte du gisement de matériaux que représente leur bâtiment et de son potentiel et non de les contraindre à réemployer. En effet, ceux-ci n'ont aucune obligation après avoir réalisé l'inventaire. Cela permet néanmoins d'initier une meilleure gestion des différents composants et leur direction vers les filières adéquates. Afin de faciliter l'inventaire qui est à rendre à l'administration, une liste de prospecteurs de matériaux qualifié est mise à disposition sur le site de la ville. Ceux-ci déterminent les matériaux réutilisables et peuvent aider le propriétaire à trouver les bons acteurs à qui les confier. Mais chaque propriétaire peut lui-même remplir le formulaire. Cependant, selon un revendeur de matériaux de réemploi commandité par la fédération américaine des acteurs du réemploi pour réaliser des statistiques, Dirk Wassink, les propriétaires ne réalisent le potentiel de leurs matériaux que dans 31% des cas. Plus proche de Bruxelles, en Flandre, les pouvoirs publics demandent l'inventaire de pré-démolition pour les

---

<sup>22</sup>Je reprends cette idée à ma promotrice Emilie Gobbo.

<sup>23</sup>Source : *Guide de conception pour la déconstruction*, Centre de recherche technique de Finlande, p 25.

édifices de plus de 1000m<sup>3</sup> n'étant pas du logement. Toutes ces initiatives permettent de percevoir le réemploi comme une opportunité, et non pas comme une obligation. Une réglementation équilibrée est donc potentiellement un levier important.

### **Création de manuels de démontage**

Afin de faciliter le démontage et le réemploi de chaque élément constitutif d'une façade dans le futur, il serait utile de réaliser un manuel de démontage. Pour l'architecte Paola Sassi, auteur du livre *Strategies for Sustainable Architecture*, le lieu où seront stockées toutes les informations sur les différents matériaux est extrêmement important. Selon elle, les informations les plus importantes pourraient être indiquées sur les matériaux eux-mêmes afin de pouvoir les réemployer même en cas de perte du manuel. Mais la documentation pourrait se présenter sous forme d'un dossier que l'architecte rédigerait et qui serait tenu à jour par le propriétaire, les entrepreneurs et le coordinateur de sécurité. Ce manuel serait transmis au nouveau propriétaire dans le cas d'une vente, afin que celui-ci favorise le démontage. Le dossier d'intervention ultérieure (DIU) est un dossier obligatoire depuis 2001 pour les constructions neuves et il est fortement encouragé de le réaliser dans le cas de rénovations. Il contient des informations relatives à la santé et à la sécurité qui pourraient s'avérer utiles lors de futurs travaux, interventions ou réparations<sup>24</sup> d'un bien. Il contient des fiches techniques de matériaux, des plans, des coupes, des élévations, des photos ainsi que la description de travaux ultérieurs conséquents. Ce dossier, actuellement utilisé uniquement pour la santé et la sécurité, pourrait être complété afin d'en faire un outil pour le réemploi par la même occasion. Il devrait contenir toutes les informations nécessaires au bon démontage et réemploi telles que la description scrupuleuse de la mise en œuvre des matériaux, de tous les entretiens sans exception, des travaux et interventions réalisés, ainsi que les éventuels dommages qui ont pu leur être causés. Toutes ces informations datées précisément permettront de savoir si le matériau a été altéré dans le temps, ou s'il possède encore toutes ces caractéristiques techniques, ce qui faciliterait son réemploi. Cependant, il mériterait d'être standardisé, amélioré, et rendu obligatoire pour tous. Une autre piste serait de stocker ces informations dans un programme informatisé. En effet, selon Rotor, les informations pourraient également être intégrées dans le BIM et ses déclinaisons.

## **1.5.3 Moyens pour arriver à une façade démontable zéro déchet**

### **Recourir à des matériaux écologiques propices au démontage**

Aux assemblages démontables doivent être couplés des matériaux écologiques. Selon le site Futura Science, un matériau écologique est un matériau non toxique « issu d'une ressource renouvelable », dont la production et la transformation « requièrent peu d'énergie et ne génèrent pas de gaz à effet de serre », dont l'extraction « ne cause pas de dommage à l'environnement », réemployable, fabriqué localement et durable dans le temps. Il doit également être non toxique pour la santé.

Rotor conseille de prendre prioritairement des matériaux « susceptibles de conserver une haute valeur ajoutée », comme la pierre ou les briques qui peuvent se revendre jusque 50 fois plus cher en fin de vie que le prix de base. Cependant, ceux-ci peuvent s'avérer fort chers à l'achat. D'autres matériaux peu écologiques à la base et propices au démontage (tels que le pneu par exemple) peuvent être considérés comme des choix écologiques à partir du moment où ils sont utilisés comme matériaux de réemploi. Ceux-ci sont souvent moins onéreux. Le

---

<sup>24</sup> Source: <https://www.notaire.be/acheter-louer-emprunter/vente-achat-generalites/documents-et-attestations-exiges-pour-vendre/dossier-d-intervention-ulterieure-diu>.

béton, quant à lui, peut être un bon matériau pour la réalisation de la structure d'un bâtiment. Bien qu'il présente un bilan environnemental élevé lors de sa fabrication, il a une longévité allant jusqu'à plusieurs centaines d'années. Ce matériau se justifie donc en structure (surtout s'il présente l'usage de granulats recyclés dans sa composition) pour peu que le bâtiment ne soit pas détruit rapidement après sa mise en œuvre. Les matériaux non favorables sont quant à eux les isolants peu écologiques tels que la mousse polyuréthane, les plastiques, etc.

Une liste des principaux matériaux écologiques et biosourcés (matériaux naturels, le moins synthétiques possibles) recommandés sera présentée dans la partie 2 « Proposition d'outils pratiques ».

### **Penser aux assemblages propices au démontage**

Pour que le principe de démontabilité soit applicable, il faut penser dès les premières esquisses de projet à la manière dont les assemblages pourraient être réversibles. Selon Emilie Gobbo, « Le potentiel de réemploi dépend du matériau mais également de la nature de son assemblage. ». Il existe deux modes d'assemblage des matériaux, humide (comme expliqué plus haut) et sec. L'assemblage sec, au contraire de l'assemblage humide, est un assemblage mécanique sans eau (tressage, emboîtement par rainure et languette, clipsage, etc.) qui peut user de pièces supplémentaires afin d'assembler les éléments entre eux (vissage, clouage, boulonnage, tenons et mortaises, etc.). S'il est préparé en atelier, l'assemblage sec raccourcit le temps de mise en œuvre et est démontable et remontable, alors que l'assemblage humide mène le plus souvent à la destruction de l'ouvrage, ne laissant peu, voire pas, de possibilité de réemploi. Cependant, l'assemblage humide est trop souvent condamné à tort<sup>25</sup>. En effet, les éléments assemblés à l'aide de mortiers à la chaux ou de plâtre sont le plus souvent démontables et ce sans dommage. Si le ciment n'est pas à préconiser, il peut tout de même être enlevé à l'aide de dispositifs techniques tels que des tambours mécanisés ou encore à l'aide de solutions acides.

Selon l'architecte Paola Sassi dans ses travaux consacrés au « design for deconstruction », si l'on veut favoriser le démontage des assemblages secs ceux-ci doivent être relativement simples, faciles d'accès, démontables à l'aide d'outils maniables et réalisés avec des matériaux solides afin qu'ils ne soient pas altérés au fil des démontages et remontages. Il faut également que les différentes couches constituant le bâtiment soient distinctes. De plus, tous les matériaux ne répondent pas aux critères des assemblages secs.

### **Généraliser la démontabilité grâce à la préfabrication**

Etant donné le coût élevé de la construction d'une façade démontable aux matériaux réemployables, il faudrait que d'autres facteurs entrent en compte afin de justifier leur application ou même de diminuer le prix total de la construction de la façade. En effet, il est extrêmement rare que le client demande à construire sa façade de manière démontable si aucun autre paramètre que l'écologie ne le justifie. En réponse à cela, la préfabrication de modules démontables pourrait permettre de généraliser les façades démontables. Ceux-ci ont de nombreux avantages, comme le fait que le bâtiment puisse rester occupé pendant la durée du chantier ou encore la diminution des nuisances lors des travaux. L'occupation des bâtiments durant le chantier permet de diminuer drastiquement le prix des travaux, et donc de diminuer les surcoûts dus à un important besoin de main d'œuvre (cfr catalogue de références : Loi 227 du bureau Architectes Associés ou encore AIM-ES). La pose des modules préfabriqués se fait sur la structure existante du bâtiment à l'aide d'une grue, tout en permettant aux occupants de

---

<sup>25</sup>Ghyoot, Devlieger, Villiers, Warnier, Rotor: 2018.

continuer à travailler ou à vivre au sein du bâtiment. Et ce genre de chantier de construction nuit moins au voisinage car il se fait en un temps record, contrairement aux chantiers classiques où démolir puis reconstruire prend souvent plus de temps. Par exemple, dans un projet des Ateliers de l'Avenir situé rue Belliard, le temps de chantier d'à peine quelques jours dû à la préfabrication a permis de diminuer les problèmes de circulation causés par la fermeture de cette rue très empruntée. La déconstruction des façades démontables induit également moins de bruit, de pollution et de poussières, grâce au remplacement des machines par des ouvriers. L'intégration de techniques de ventilation dans les modules de façades permettraient de ne pas avoir ces techniques dans un faux plafond, et donc de pouvoir garder une hauteur habitable plus importante. En outre, la conservation de la structure pourrait permettre d'obtenir le permis de bâtir plus rapidement. Un dernier avantage de la préfabrication est que les modules préfabriqués sont souvent plus performants car ils sont fabriqués préalablement en atelier et non dans les conditions plus difficiles du chantier. Des exemples démontrant ces pratiques se trouvent dans le catalogue de références ci-dessous.

### **Envisager la standardisation des matériaux**

Est-ce que la standardisation des matériaux permettrait de garantir plus de stabilité de l'offre dans le temps et donc favoriser le réemploi ? C'est en tout cas une des pistes exposées dans le livre de Rotor. L'imposition d'un standard universel permettrait que tous les matériaux soient compatibles en cas de réparation d'un ouvrage ou lors de sa conception. L'interopérabilité des matériaux provenant de différents fournisseurs serait donc possible, ce qui aurait sans doute pour conséquence que ceux-ci se démarqueraient pour la qualité de leurs produits, les délais de mises en œuvre ainsi que le service après-vente. Les entreprises seraient donc responsables du matériau jusque sa fin de vie et concevraient sans doute des produits plus durables. Si cette piste peut sembler intéressante afin de faciliter le réemploi, elle pose cependant question quant à sa faisabilité. Quelle autorité -s'il y en a une- dictera ces standards et à quelle échelle ?

### **Intégration de techniques dans la façade**

L'intégration de techniques dans la façade et non dans un faux plafond lors de la rénovation d'immeubles de bureaux permettrait de garder une hauteur sous plafond suffisante. De cette manière, plusieurs affectations seraient possibles, allant du logement qui requiert une hauteur sous plafond de 2,5 mètres au bureau qui requière 2,7 mètres. Cette intégration de la ventilation en façade peut s'avérer extrêmement utile dans le cas d'immeubles bas de plafond comme il en a été construit en quantité dans les années 60-70. Sans cette manière de faire, ceux-ci seraient probablement détruits, alors qu'ils pourraient être transformés en logements dans des quartiers où les bureaux dominant et où la mixité de fonction fait défaut. Les bâtiments pourraient ainsi évoluer et mieux répondre aux besoins d'un quartier. En 2015, c'est près de 26 000 personnes qui ont été logées dans plus d'un million de mètres carrés de bureaux vacants<sup>26</sup>. Un nombre important en pleine pénurie de logements. Cependant, l'intégration des techniques en façade présente des limites et notamment l'augmentation de l'épaisseur de la façade. Ce problème peut être réglé par la création d'un rez-de-chaussée commercial vitré ou les modules seront moins larges.

### **« Remplacer l'énergie par la main d'œuvre »<sup>27</sup>**

Comme dit plus haut, selon Rotor, la déconstruction ainsi que le réemploi des matériaux de construction demandent souvent beaucoup de main-d'œuvre. Pour être précis, « à chantier

---

<sup>26</sup> Source: Je reprends cette idée du TFE de Julie Merschaert, les chiffres proviennent de Citydev.Brussels, L'observatoire des bureaux, n° 36, 2016, p. 23.

<sup>27</sup> Ghyoot, Devlieger, Villiers, Warnier, Rotor: 2018.

d'égale importance, la déconstruction implique près de 7 fois plus de main-d'œuvre que la démolition. » et ce dû à la mécanisation présente dans un cas de démolition classique. De nos jours, cette main d'œuvre nécessaire au réemploi est assez onéreuse. Selon l'architecte et chercheur Walter Stahel dans son étude *The Potential for Substituting Manpower for Energy* (le potentiel de substituer l'énergie par la main-d'œuvre, 1981), énormément d'énergie et très peu de main d'œuvre sont nécessaires pour l'extraction et la production d'un matériau. Au contraire, très peu d'énergie et trois fois plus de main d'œuvre sont demandés lors de la transformation des matériaux en produits finis. Dans le cas du réemploi local ou les étapes d'extraction et de production sont pratiquement supprimées, l'énergie est remplacée par le travail. Cette suppression d'énergie permet des économies financières qui amortissent les coûts élevés de la main d'œuvre. De plus, les matériaux peuvent être revendus lors d'une rénovation. Cette façon de faire permet également la création de nouveaux métiers et de nombreux emplois. D'où l'intérêt récent des autorités publiques pour le secteur de l'économie circulaire selon Rotor. Mais ces emplois sont-ils toujours valorisants et bien rémunérés ?

### **1.5.4 Langage architectural**

#### **Symbole fort de l'architecture démontable**

L'architecture démontable se caractérise par des modules de mêmes largeurs, présentant quelques variations. Une telle façade est facilement reconnaissable, et pourrait être le symbole d'une architecture plus respectueuse de l'environnement. La création de ce genre de façade avec des matériaux écologiques atypiques permettrait d'attirer l'attention des citoyens et des architectes.

### **1.5.5 Synthèse des pistes de réponses théoriques**

Pour conclure ce chapitre, le réemploi permis par la démontabilité offre l'opportunité de dépenser moins d'énergie grâce à l'évitement des phases de fabrication et de traitement de déchet, et donc de produire moins de gaz à effet de serre, de produire moins de déchets et de ne plus puiser dans les ressources existantes. La démontabilité permettrait également de soutenir le changement plutôt que la destruction de bâtiments d'après-guerre, tout en générant des opportunités d'emplois locaux. Elle permet en effet un changement des techniques, un changement du parement et de l'affectation possible au moyen d'assemblages réversibles sur des matériaux écologiques. Afin de les généraliser, plusieurs pistes peuvent être explorées comme la préfabrication qui offre de nombreux avantages, un temps de conception plus long compensé par une diminution de la main d'œuvre, des manuels de démontage, de la sensibilisation, une approche législative plus volontariste et même la standardisation des matériaux. De plus, elles pourraient s'appliquer sur des bureaux habituellement détruits en intégrant les techniques en façade et accueillir des fonctions mixtes pour répondre au mieux à la demande. Cela permet de conserver la structure, de bénéficier d'un temps de chantier très court et d'obtenir le permis dans un délai plus rapide que celui nécessaire à la construction d'un bâtiment neuf.



## 1.6 Sources pratiques : catalogue de référence

Un catalogue complet illustré des références ainsi qu'une interview sont proposés en annexe.

### 1.6.1 Critères d'évaluation des projets

24 critères pour une bonne façade démontable zéro déchet ont été élaborés par l'auteur.

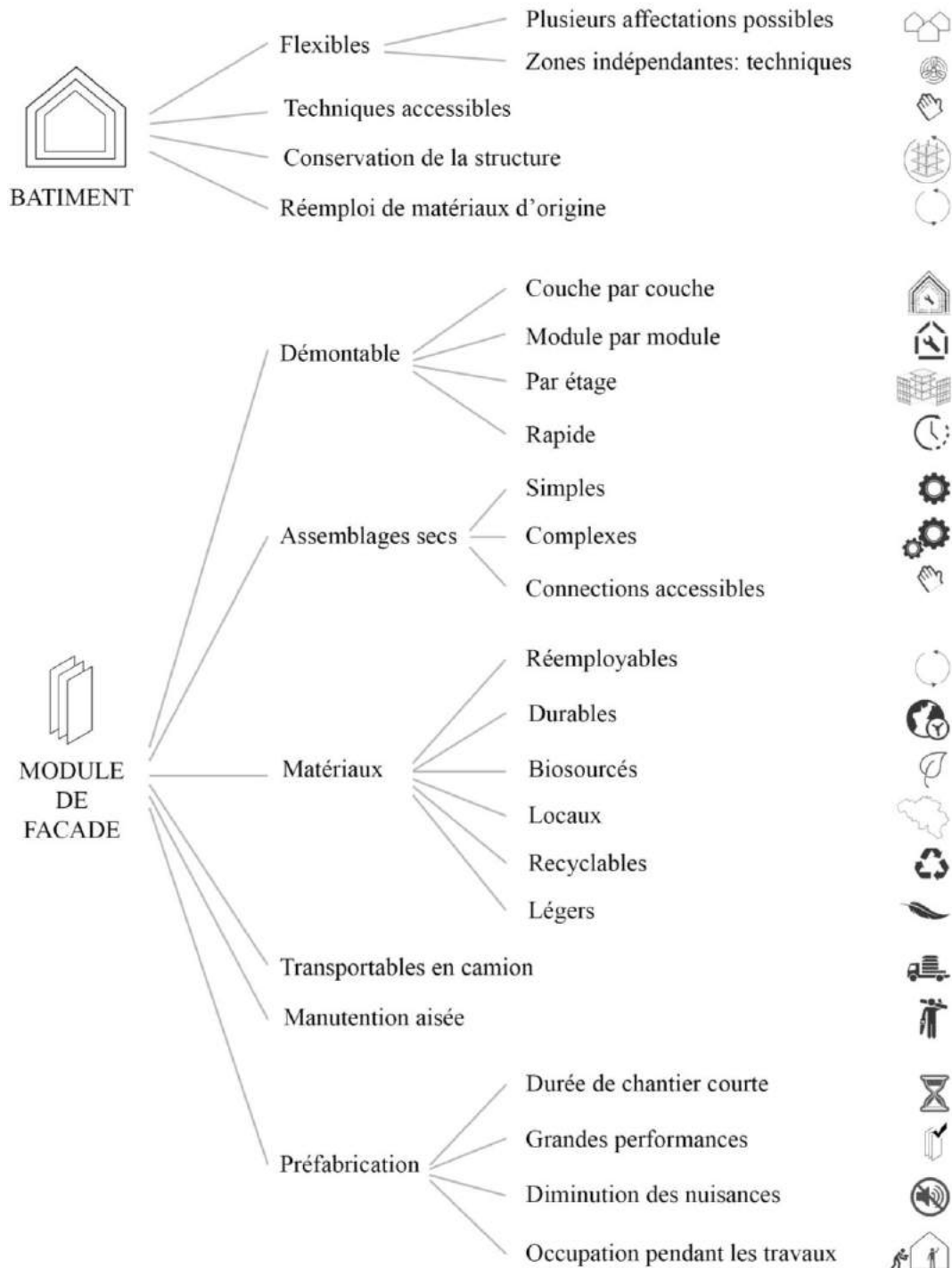


Figure 10 : 24 Critères d'évaluation des façades démontables zéro déchet<sup>28</sup>.  
Source : Schéma réalisé par l'auteur. Source de certaines images : Guldager, Sommer, 2013.

<sup>28</sup> Je reprends l'idée d'une grille du TFE de Louise Deprins sur le Design for Change.



## 1.6.2 Circular Retrofit Lab (VUB, 2019, Bruxelles)

Le projet, nommé Circular Retrofit Lab, consiste en la rénovation d'un bâtiment abritant des kots étudiants et en sa transformation en logements, bureaux et lieu de conférences. Grâce à la démontabilité, le bâtiment pourra être facilement adapté afin d'accueillir une nouvelle fonction au premier étage tous les 6 mois. Seule la structure existante en béton a été préservée.

Ce projet fait partie du projet européen HORIZON2020 « Buildings As Material Banks ».

### Façades

Les éléments de façade sont des éléments préfabriqués et réversibles qui peuvent s'adapter selon la fonction du bâtiment. Les modules préfabriqués s'accrochent à la structure existante à l'aide de petites équerre métalliques ancrées dans les colonnes de béton. Ils ont été entièrement préfabriqués à l'exception du revêtement qui a été posé après-coup pour ne pas l'endommager. Les châssis en bois des fenêtres peuvent changer de place en fonction de l'affectation en s'insérant dans la façade rideau. Les éléments de façade sont en retrait par rapport à la structure existante afin de bénéficier d'une continuité de l'isolant, l'isolation passant derrière la structure, mais également de permettre des gaines verticales. La logique structurelle reste la même qu'auparavant, ce qui permet de respecter l'architecture initiale. Les architectes n'ont pas souhaité partager plus de détails techniques.

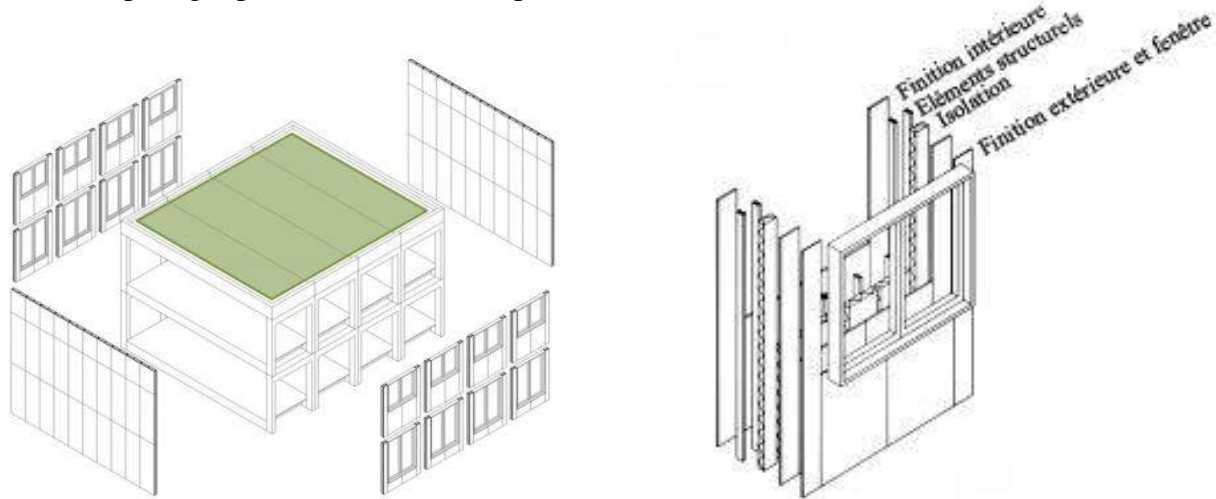


Figure 11 et 12 : Façades démontables.  
Source : Auteur anonyme 1, 2018.

### Point de vue critique

Le projet lie performances techniques et réversibilité. Cependant, le projet étant expérimental, il n'est pas encore possible de savoir si les assemblages réversibles seront régulièrement utilisés et donc rentabilisés économiquement. Cependant, selon Charlotte Cambier, la démontabilité s'est déjà avérée utile lors du chantier puisque le démontage a été expérimenté à cause d'un défaut de mise en œuvre. En effet, les façades présentaient des fuites lors du test d'étanchéité. Ce problème a été facilement réglé grâce à la démontabilité. Les matériaux du bâtiment initial n'ont pas été réemployés. Un dernier point est le désir de garder les poutres apparentes en façades, engendrant un raccord d'isolation intérieur derrière les colonnes.

**Le projet répond à 16 des 24 critères d'évaluation des façades démontables zéro déchet :** plusieurs affectations possibles facilement, zones indépendantes par rapport à la technique, conservation de la structure, démontabilité rapide module par module, assemblages simples, accessibles avec des matériaux locaux, recyclables durables et légers. Le transport s'est facilement fait en camion, avec une manutention aisée, un chantier court et sans nuisances. Les modules ont de grandes performances grâce à la préfabrication.

### 1.6.3 Projets du bureau Architectes Associés

L'une des prises de parti du bureau Architectes Associés est d'essayer de conserver l'ossature d'un bâtiment existant afin de diminuer le budget et la production de déchets.

#### 1.6.3.1 Loi 227 (2008, Bruxelles) 6110 m<sup>2</sup> - 4 200 000€

Ce projet rue de la Loi, consiste en la rénovation d'un immeuble de bureaux des années 70.  
**Façades**

Le bâtiment présentait un équipement technique et une façade obsolètes mais une structure béton saine. L'une des grandes contraintes de cette rénovation était que le bâtiment devait rester occupé sans perturbation pendant toute la durée des travaux. Afin de répondre à cette exigence, les architectes ont conçu des modules préfabriqués en atelier qui viennent se fixer à la structure à l'aide de grues. La peau isolée est parvenue à faire atteindre le standard passif à l'immeuble. Un revêtement en aluminium recyclé est fixé sur un lattage en bois, qui est lui-même accroché à la structure existante en béton. L'aluminium anodisé recyclé a été choisi car l'énergie pour le produire était moindre par rapport à celle d'un acier thermolaqué qui est moins recyclable. Un simple lamellé-collé a été utilisé pour son prix bas, bien que cette essence ait des nœuds qui ont tendance à sauter et à permettre les infiltrations d'eau. La jonction entre les cadres se fait par un serrage mécanique. Une pièce EPDM est mise entre les deux et il y a deux zones d'étanchéité à l'air par précautions, bien que cela ne soit pas vraiment utile.



Figure 13 : Module préfabriqué de la façade

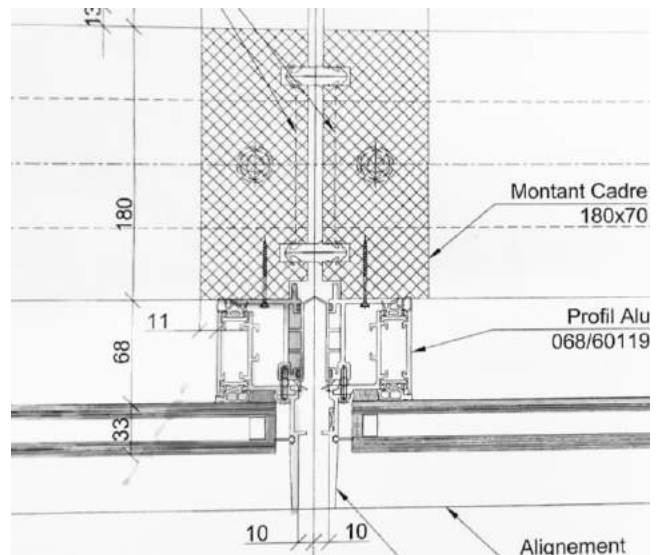


Figure 14 : Jonction entre modules.

Source : Détail donné par Sabine Leribaux lors d'une entrevue.

#### Point de vue critique

Loi 227 est difficilement démontable module par module à cause de la jonction qui est réalisée par un serrage mécanique. Les cadres de la façade sont très étanches à l'air, mais il n'était pas nécessaire de mettre plusieurs membranes pour assurer l'étanchéité. La présence de ces membranes non réemployables ne répond pas à mon critère zéro déchet. Ce système de cadre s'avère cependant pérenne. Dans ce projet, les techniques ne sont malheureusement pas changées. L'un des points forts du projet est le fait que le bâtiment ait pu rester occupé pendant l'unique semaine de chantier grâce à la pose de modules préfabriqués.

**Le projet répond à 16 des 24 critères d'évaluation** : plusieurs affectations possibles, conservation de la structure, démontable module par module, couche par couche, étage par étage, assemblages complexes, accessibles avec des matériaux durables, recyclables et légers. Le transport s'est facilement fait en camion, avec une manutention aisée, un chantier court, sans nuisances et une occupation pendant les travaux. Les modules ont de grandes performances.

### 1.6.3.2 AEROPOLIS II (2010, Bruxelles) 7 388 m<sup>2</sup> - 13 500 000 €

Le projet Aéropolis II était lors de sa conception le plus grand immeuble de bureaux passif d'Europe. Pour ce projet de construction neuve, les surcoûts étaient relativement bas.

#### Façade

Les modules qui viennent s'accrocher sur la structure en béton préfabriqué ont été réalisés avec le façadier Kyotech. Leurs performances thermiques élevées et la courte durée de chantier courte ont été plus faciles à atteindre grâce à la préfabrication en atelier. Ces modules de 90 cm de large se déclinent de trois manières différentes : pleins, totalement vitrés ou partiellement vitrés. Ces variations permettent de mieux répondre à l'activité que le bâtiment abrite, que ce soit du bureau ou du logement. Le plan d'un bureau type est composé de trois modules de 90cm ce qui rend le bâtiment très modulable. L'étroitesse des modules engendre cependant un grand nombre de montants et donc de profils à usiner, de joints et de finitions, ce qui est plus cher. Leur structure consiste en un cadre bois rempli d'isolant. Etant donné la sensibilité du bois aux conditions hygrothermiques, le pin d'Oregon, bois belge, a été choisi. Ces cadres sont fermés à l'extérieur par un panneau de fibrociment lui-même recouvert d'un fin panneau isolant. Côté intérieur, une étanchéité à l'air est recouverte d'un isolant phonique et c'est un panneau multiplex perforé qui joue le rôle de finition. Seuls les stores, plus fragiles, ont été posés par après. Peu d'étanchéité EPDM a été utilisée dans ce projet à assemblage tenons et mortaises. Cependant, cette étanchéité réalisée par serrage mécanique rend le démontage module par module plus difficile, au contraire du démontage par étage entier.

#### Flexibilité

L'espace est divisé en zones indépendantes techniquement (ventilation, éclairage, etc.) qui peuvent être cloisonnées selon les besoins du moment.



Figure 15: variété de modules 90 cm de large.

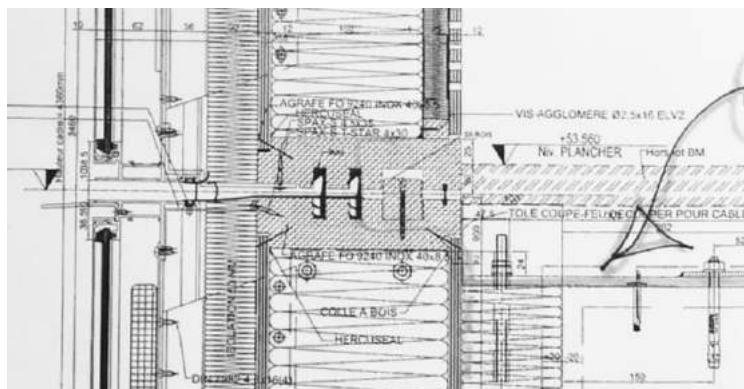


Figure 16 : Jonction entre modules.

Source : Détail donné par Sabine Leribaux lors d'une entrevue.

#### Point de vue critique

Premièrement, la structure en béton, difficilement recyclable, aurait pu être remplacée par du bois. Ensuite, l'étanchéité étant assurée par l'assemblage des deux cadres, ceux-ci ne sont pas faciles à démonter panneau par panneau mais davantage à plusieurs, engendrant un chantier lourd. Au niveau de la flexibilité, l'idée des zones indépendantes est intéressante. De plus, le dimensionnement des surfaces vitrées permet d'accueillir plusieurs fonctions selon la combinaison que l'on choisit, cette variété induisant moins de monotonie.

**Le projet répond à 14 critères d'évaluation** : zones indépendantes techniquement, démontable module par module, couche par couche, étage par étage, assemblages complexes, accessibles avec des matériaux durables, biosourcés en partie, recyclables et légers. Le transport s'est facilement fait en camion, avec une manutention aisée, un chantier court, sans nuisances. Les modules ont de grandes performances.

### 1.6.3.3 ELIA GREEN BUILDING (2013, Bruxelles) 10 000m<sup>2</sup> - 19 000 000 € HTVA

Le projet, situé le long du quai Monnoyer à Bruxelles, est un immeuble passif neuf de bureaux, pratiquement zéro énergie niveau électricité et consommation gaz. Lors du chantier, les déchets de construction ont été triés et recyclés, mais pas réemployés.

#### Façades

La façade du bâtiment consiste en un mur-rideau passif. La structure du bâtiment en béton pour l'inertie thermique et la durabilité. Des hourdis en béton de 13 mètres reposent sur des poutres qui rendent possible l'enlèvement de certains modules préfabriqués, laissant place à une future terrasse ou à un bow-window. Le bâtiment de bureau peut par conséquent changer d'affectation et se transformer en logements après démontage des modules de 5,4 mètres de largeur et de 3.6 mètres de hauteur. Ceux-ci sont constitués d'un système de caisson préfabriqué et démontable, qui sont réalisés en bois et sont recouverts d'une feuille d'aluminium recyclée pour les mêmes raisons que dans un projet précédent. Le bois est du *structural veneer lumber*, c'est-à-dire des couches de 3mm collées et pressées ensemble afin de ne pas bouger. Ils sont remplis par un isolant en laine de roche de 27 cm d'épaisseur qui prend les gains internes du bâtiment en compte. Ce sont les plaque d'OSB qui jouent le rôle de pare vapeur côté intérieur et de pare-pluie avec une barrière étanche à l'eau côté extérieur. Les finitions intérieures sont en bois.



Figure 17 : Modules sur chantier.

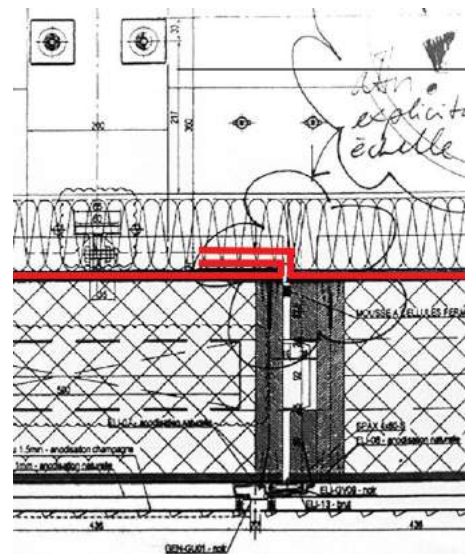


Figure 18 : Jonction entre modules.

Source : Détail donné par Sabine Leribaux lors d'une entrevue.

#### Point de vue critique

A nouveau, la structure est en béton. Les caissons sont quant à eux moins durables et pérennes, mais plus démontables que les cadres. La façade n'est pas zéro déchet et n'intègre pas le réemploi ou des techniques en façade.

**Le projet répond à 15 des 24 critères d'évaluation :** plusieurs affectations possibles, zones indépendantes techniquement et avec des techniques facilement accessibles, démontable module par module, couche par couche, étage par étage, assemblages complexes, accessibles avec des matériaux durables, biosourcés en partie, recyclables et légers. Le transport s'est plus difficilement fait en camion à cause des grandes dimensions des modules, avec une manutention un peu plus compliquée, un chantier court, sans nuisances. Les modules ont de grandes performances.

### 1.6.3.4 Brussels Greenbizz (2016, Bruxelles) 10 000m<sup>2</sup> - 19 000 000 € HTVA

Ce projet neuf intègre des bureaux passifs, des ateliers pour des entreprises soucieuses de l'environnement, un incubateur et des espaces publics (exposition et café).

#### Façade

La structure est composée de colonnes et de dalles en béton, tandis que l'enveloppe consiste en des caissons préfabriqués en bois de 2,25 mètres de large remplis de cellulose en vrac.

Ce sont des joints EPDM, soit des joints en caoutchouc, qui permettent d'assurer l'étanchéité à l'eau en joignant les différents cadres entre eux. Si cette idée semblait bonne sur papier, les joints EPDM collés au cadre se sont abimés lors de la manutention et du transport sur chantier. Il était donc extrêmement difficile de réaliser l'étanchéité une fois les modules posés, la membrane étant fort déchirée. Les hommes de métier ont alors décidé avec les architectes de réaliser un joint de silicone. Ce joint est censé être entretenu tous les ans, or la finition intérieure ne permet pas cet entretien.

Ce qui est très intéressant dans ce projet, c'est que c'est au cours du chantier que le bureau Architectes Associés a expérimenté la démontabilité pour la première fois. En effet, Greenbizz a été incendié de manière criminelle lors des travaux, ce qui a donc poussé les architectes à retirer certains modules endommagés. Le démontage des caissons s'est révélé extrêmement facile, au contraire des cadres qui ont été choisis dans les projets ultérieurs. Il a suffi d'insérer une scie à bois entre les modules, de scier l'EPDM, d'enlever le module endommagé et d'en remettre un autre dont il faut réaliser l'étanchéité.



Figure 19 et 20 : Façades.  
Source : Architectes Associés, 2018.

#### Point de vue critique

Les cadres de Greenbizz, bien que moins écologiques et non zéro déchet avec le silicone, sont très faciles à démonter. Il suffit de couper la membrane avec une scie pour que les modules se séparent. Un point négatif est l'usage de la cellulose en vrac. Pour réaliser tous les tests de densité, les architectes ont troué les façades à de multiples endroits, qu'ils ont ensuite recouvert d'un ruban adhésif, ce qui n'est pas durable. De plus, lors de l'incendie, la façade avait d'abord été endommagée, et les vides de la cellulose en vrac a contribué à la propagation de l'incendie. Les matelas de cellulose sont donc à préconiser selon le bureau.

**Le projet répond à 14 des 24 critères d'évaluation** : démontable module par module très rapidement mais également couche par couche, assemblages simples, accessibles avec des matériaux biosourcés en partie, locaux, recyclables et légers. Le transport s'est fait en camion, avec une manutention aisée, un chantier court, sans nuisances. Les modules ont de grandes performances.

### 1.6.3.5 HD54 (2018, Bruxelles)

L'immeuble de bureau accueille la compagnie d'assurance AXA. Lors de ce projet, les architectes ont réussi à convaincre le client de préserver la structure existante qui était tout à fait saine et de rénover le bâtiment.

#### Réemploi

Le client s'est montré soucieux de l'écologie et tout à fait ouvert au réemploi des matériaux existants. Rotor n'avait pas de demande pour les matériaux que présentait HD54, le bureau Architectes Associés a alors fait jouer ses relations pour les réemployer. Les doubles vitrages existants ont trouvé une nouvelle vie dans des serres à Bruxelles, les luminaires, meubles et cloisons ont été reprises par Recyk-Ecopole. La brique a été démontée, et dirigée vers des filières de réemploi.

#### Façades

L'enveloppe existante a, comme dit plus haut, été démontée. Le voile de béton a dû être percé pour amener plus de lumière, ce qui a coûté très cher. La nouvelle façade consiste en des modules préfabriqués qui viennent comme dans les autres projets s'ancrer dans la structure existante. Depuis l'intérieur jusque l'extérieur, une tôle métallique pare vapeur est placée sur l'ossature bois qui contient de la laine de roche. Du mortier et mosaïque de verre sont placés sur des panneaux Fibro ciment. Le projet ne présente qu'une barrière étanche à l'air ce qui est une amélioration par rapport aux premiers projets.



Figure 21: Module de façade pendant le chantier.

Source : Architectes Associés, 2018.



Figure 22 : Façade finie.

#### Point de vue critique

Ce qui est surtout intéressant dans ce projet, c'est que c'est le premier où Architectes Associés arrive à réemployer les matériaux. Le réemploi des matériaux a pu se faire grâce au client ouvert d'esprit qui était désireux de faire un geste pour l'environnement et grâce aux relations du bureau. Un point négatif est selon moi l'utilisation de la mosaïque qui demande beaucoup d'énergie et de main d'œuvre de part la petite taille des carreaux. De plus, le fait qu'elle soit vernissée peut rendre leur recyclage moins aisé.

**Le projet répond à 13 des 24 critères d'évaluation** : réemploi de matériaux d'origine et conservation de la structure, démontable module par module mais moins couche par couche, assemblages simples, accessibles avec des matériaux durables, recyclables et légers. Le transport s'est fait en camion, avec une manutention aisée, un chantier court, sans nuisances. Les modules ont, comme dans les projets précédents, de grandes performances.

## 1.6.4 Bureau de Delftech (BiermanHenket, 2001, Pays-Bas)

Ce projet d'immeuble de bureau prend place dans le parc Delftech. Selon l'architecte, Bierman Henket, ce bâtiment expérimental a pour objectif de « contribuer à la recherche d'une solution pour la durabilité intégrale des bâtiments, définie ici comme suit : longue durée de vie, flexibilité (adaptation libre), faible consommation d'énergie (basse consommation) et efficacité industrielle ».

### Façade

Ce bâtiment neuf de bureaux présente une façade démontable et transformable. Celle-ci comporte une double peau en verre qui joue un rôle important au niveau énergétique car elle contribue aux besoins de chaud et de froid selon les saisons. La structure a été conçue à l'aide de pièces préfabriquées aux dimensions standards : des poutres préfabriquées en béton. Des pans de façade pourront être rajoutés au rez-de-chaussée afin de fermer cet étage de parking et de le transformer en bureaux.



Figure 23 : façade des bureaux



Figure 24: Seconde peau d'acier et de verre

Source : Auteur anonyme 6, 2019.

### Point de vue critique

Bien que la double peau soit intéressante et effectivement démontable, son verre et son acier sont difficilement réemployables et souvent uniquement recyclés. De plus, elle rend le changement des modules compliqué à effectuer. L'utilisation d'une telle quantité d'acier, matériau dont la production est très énergivore, répond plus difficilement aux critères du zéro déchet. Malheureusement, peu d'informations et de détails techniques sur le projet étaient disponibles.

**Le projet répond à 8 des 24 critères d'évaluation** : Plusieurs affectations sont possibles facilement, démontable module par module, assemblages complexes, accessibles avec des matériaux durables. Le transport s'est fait assez difficilement en camion avec une manutention compliquée due à la grandeur des modules. Le chantier a été court, sans nuisances. Les modules ont de grandes performances.

### 1.6.5 Système AIM-ES (BrusselsRetrofitXL, 2016, Bruxelles)

Les systèmes d'enveloppes industrialisées AIM-ES (Architectural Industrialised Multifunctional Envelope systems) visent à réhabiliter et agrandir des ensembles de logements en ville. Cette méthode de rénovation demande une phase de conception et une phase d'investigation plus longues qu'une rénovation classique, ce qui engendre un coût plus élevé. Par conséquent, ce système est plus approprié pour les grands immeubles ou pour les immeubles présentant un grand degré de répétition. Cette technique n'est pas répandue en Belgique.

#### Façade

Les éléments préfabriqués AIM-ES enveloppent littéralement le bâtiment existant, ce qui raccourci la durée du chantier et permet de moins nuire aux occupants qui peuvent rester dans la majeure partie du bâtiment. Des techniques de ventilation, chauffage, climatisation ainsi que des pare soleil sont intégrées dans les modules. Les systèmes utilisant du bois sont très rapides à exécuter sur chantier, et de haute qualité et précision. Dans les exemples ci-dessous, les modules présentent soit une couche pour réaliser l'interface entre le module et la façade existante puis un panneau et l'isolation, soit directement l'isolation.

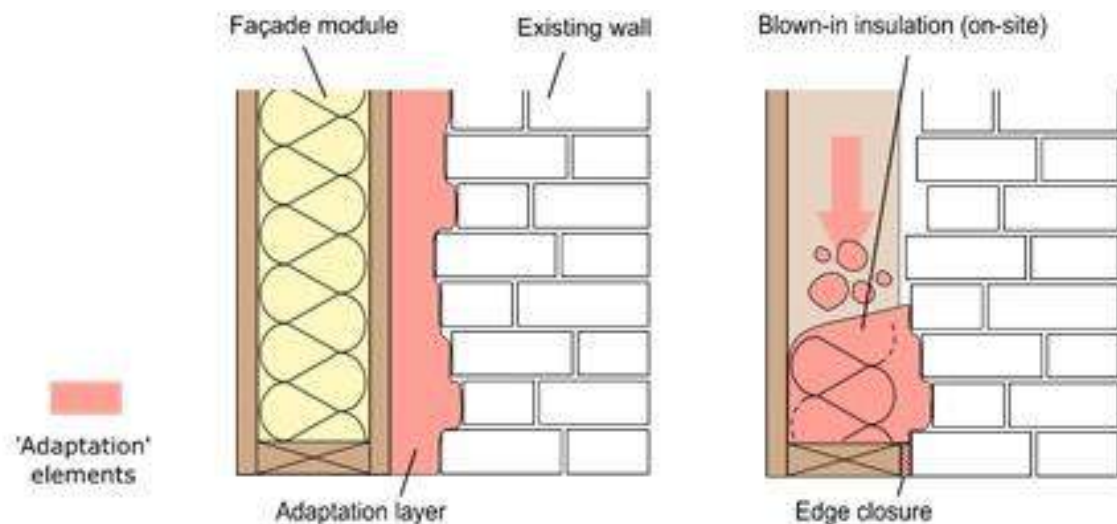


Figure 25 : Système fermé (à gauche) et ouvert (à droite).  
Source : CSTC, 2013.

#### Point de vue critique

Cette méthode convient pour les bâtiments existants présentant des murs porteurs. Elle permet d'éviter la destruction du bâtiment et de lui fournir des performances thermiques plus élevées qu'en isolant par l'intérieur. Un autre point positif est l'occupation possible des locaux pendant le chantier. Cependant, cette méthode de rénovation intégrant la technique dans la façade est plus chère et ne convient pas à tous les types de bâtiment puisqu'elle est déconseillée dans le cas de structure poteau-poutre ou de dalle champignon. Il est également à noter que le fait de cacher un matériau comme la brique pose question. Dans une optique de réemploi où les matériaux sont revalorisés, le fait d'avoir un matériau inutile et invisible est assez paradoxal. La lecture initiale de la façade n'est plus visible non plus.

**Le système permet de répondre à minimum 16 des 24 critères d'évaluation** : la structure est toujours conservée, les modules sont démontables individuellement, parfois couche par couche, assemblages simples, accessibles avec des matériaux pouvant être locaux, durables, biosourcés en partie, recyclables et légers. Le transport peut se faire en camion, avec une manutention aisée ou compliquée selon les dimensions, un chantier court, sans nuisances, avec une occupation des locaux pendant les travaux. Les modules peuvent être très performants.



## 1.6.6 S Projets faisant appel au système CIMEDE (Ateliers de l'Avenir, 2008-2018, Liège)

### 1.6.6.1 Présentation du système constructif CIMEDE

CIMEDE (Construction Industrielle de Maisons Evolutives, Durables, et Economiques) est un système constructif passif et préfabriqué en bois créé par les Ateliers de l'Avenir.

#### Industrialisation des modules

Sa préfabrication offre une plus grande précision et donc une meilleure étanchéité à l'air et à l'eau, une diminution des prix et moins de ressources premières utilisées. Son industrialisation comporte plusieurs étapes : l'usinage des profilés, l'assemblage de la structure qui est remplie d'isolant et sa fermeture. Les planchers et les techniques sont également industrialisés.

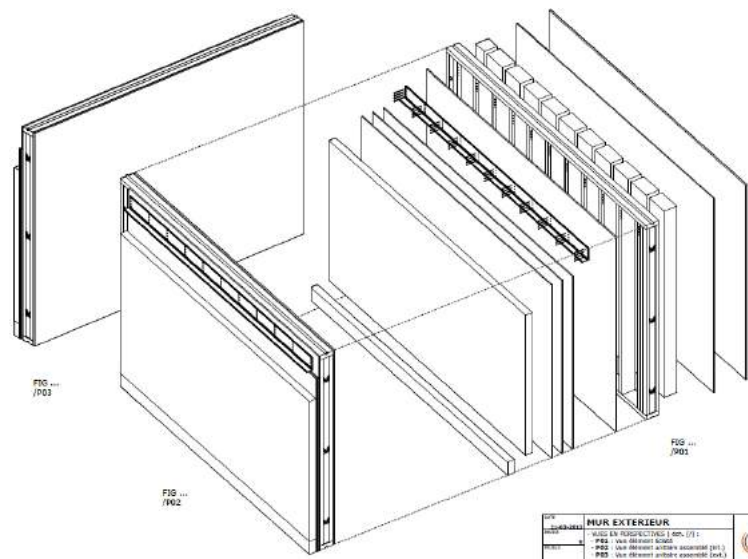


Figure 26 : modules préfabriqués.

Source : Image donnée par Gaëtan Duyckaerts lors d'une entrevue.

#### Standardisation du système

Comme expliqué dans les pistes d'action, la standardisation permet d'avoir une offre plus stable dans le temps et des pièces disponibles en cas de dommage. De plus, une seule personne est responsable en cas de problème.

#### Chantier

Ce système préfabriqué offre une durée de chantier plus courte avec moins d'interventions et d'imprévus. Le bâtiment est rapidement protégé de l'eau, ce qui est conseillé pour le bois. Des monteurs agréés les mettent en place et réalisent les raccords entre les éléments, essentiels pour une bonne étanchéité à l'air. Le chantier d'une maison avec les panneaux CIMEDE peut être terminé en 2-3 jours avec 3-4 ouvriers à peine.

#### Point de vue critique :

Un point extrêmement intéressant du projet, outre la préfabrication qui permet une plus grande précision et une meilleure étanchéité ainsi que la démontabilité, est la standardisation des éléments. Un autre point intéressant du projet est le retour économique. Selon Gaëtan Duyckaerts, qui dirige la transformation de l'unité de production des Ateliers de l'Avenir où sont fabriqués les modules, le système Cimedede coûte environ 10 % de plus qu'un système de construction traditionnel.

### 1.6.6.2 Cuesmes (Baneton Garrino, 2017, Mons)

Le projet consiste en la rénovation de l'enveloppe de 7 bâtiments comprenant 119 logements sociaux à l'aide du système constructif CIMEDE.

#### Façade

La façade est réalisée à l'aide de 493 caissons préfabriqués. Seuls 8 types de caissons ont été créés. Ceux-ci viennent se placer entre les colonnes auxquelles elles se fixent ainsi qu'aux dalles. Un raccord d'isolation doit être réalisé par l'intérieur. La jonction entre modules se fait à l'aide de tape.



Figure 27 et 28 : Modules entre colonnes.  
Source : Image donnée par Gaëtan Duyckaerts lors d'une entrevue.

#### Chantier

Le chantier se déroule avec un nombre peu élevé d'ouvriers qui sont capables de poser 20 modules en une journée. Le temps de chantier est par conséquent très réduit. Le bâtiment est occupé pendant les travaux.

#### Point de vue critique

Ce qui est surtout intéressant dans ce projet, c'est la manière dont sont fixés les modules entre les colonnes. Les pattes de fixations des modules sont bien visibles sur les photos et peuvent être déplacées si elles rencontrent une armature dans la structure existante. Une autre qualité du projet est que le bâtiment est resté occupé pendant les travaux, ce qui a diminué les coûts. Cependant, le fait de placer les modules entre colonnes pose question par rapport au degré de préfabrication étant donné qu'un raccord d'isolation doit être fait derrière les colonnes. Cette manière de faire engendre également une grande quantité de membranes pétrochimiques qui sont utilisées devant les colonnes afin de réaliser la jonction entre les modules.

**Le projet répond à 15 des 24 critères d'évaluation** : la structure est conservée, les modules sont démontables individuellement, couche par couche, avec des assemblages simples réalisés moyennement rapidement à cause du raccord d'isolant entre colonnes, accessibles avec des matériaux locaux, durables, biosourcés en partie, recyclables et légers. Le transport se fait en camion, avec une manutention aisée au moyen d'un camion grue, un chantier court, sans nuisances. Les modules sont performants.

### 1.6.6.3 Tournesols (Alain Dirix, 2016, Liège)

Cet ancien hôpital de 1500 mètres carrés a été rénové et partiellement transformé en maison de repos et de soins et en un centre d'accueil de jour.

#### Façade

La façade est réalisée à l'aide de 240 caissons préfabriqués en bois qui se divisent en 7 types différents. 30 caissons par jour peuvent être posés pour un chantier d'une durée d'environ une semaine. La jonction entre les modules se fait avec un tape extérieur et une membrane intérieure. Le parement en brique ne permet pas de distinguer les différents modules, de l'extérieur le bâtiment semble avoir été réalisé de manière traditionnelle.



Figure 29 : Caissons préfabriqués.



Figure 30 : Façade achevée en briquettes.

Source : Image donnée par Gaëtan Duyckaerts lors d'une entrevue.

#### Point de vue critique

Le temps de pose est intéressant, en sachant que 30 modules peuvent être posés par jour il est possible d'estimer le temps d'un chantier qui utiliserait des caissons préfabriqués. Un point plus négatif est que depuis l'extérieur, le revêtement en brique ne permet pas de se douter de l'usage de caissons préfabriqués. De plus, les briquettes sont mises en œuvre à l'aide de mortier-colle, ce qui les rend difficilement réemployables. Elles entraînent également l'impossibilité d'accéder aux connexions et assemblages des modules préfabriqués pour un remplacement aisé.

**Le projet répond à 14 des 24 critères d'évaluation** : la structure est conservée, les techniques sont accessibles, les modules sont démontables individuellement, avec des assemblages simples réalisés rapidement, accessibles avec des matériaux durables, recyclables et légers. Le transport se fait en camion, avec une manutention aisée au moyen d'un camion grue, un chantier court, sans nuisances.

#### 1.6.6.4 Ekla (B2AI, 2019, Bruxelles)

Cette tour neuve de logements de 9000 mètres carrés comprenant des commerces a pris place à Bruxelles.

##### Façade

La façade est réalisée à l'aide de 600 caissons qui portent d'étage en étage. Elle utilise un système de caisson où la membrane placée sur l'ossature bois vient se replier sur le béton. Un tape est ajouté à la jonction entre les modules.

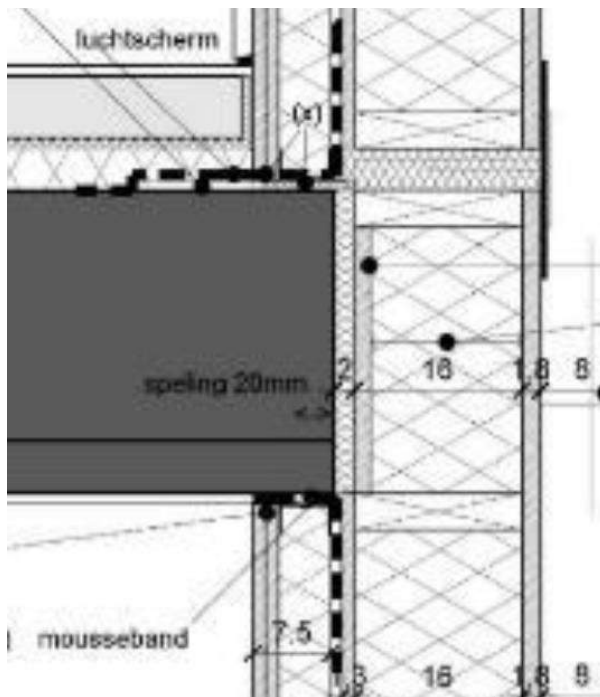


Figure 31: Coupe de détail de la jonction des modules.



Figure 32: attache d'un module à la dalle.

Source : Image donnée par Gaëtan Duyckaerts lors d'une entrevue

##### Point de vue critique

Dans ce projet, une membrane recouvre l'entièreté de la façade. Il n'est donc pas du tout zéro déchet. Comme dit précédemment, les caissons sont cependant très facilement démontables. L'attache des modules est intéressante.

**Le projet répond à 14 des 24 critères d'évaluation** : les modules sont démontables individuellement, couche par couche, avec des assemblages simples réalisés rapidement, accessibles avec des matériaux durables, biosourcés en partie, recyclables et légers. Le transport se fait en camion, avec une manutention aisée, un chantier court, sans nuisances. Les modules sont performants.

### 1.6.7 Cité Internationale de Cuques (CANAL, 2015, Aix-en-Provence) 10 000m<sup>2</sup> -19 000 000 € HTVA

Ces trois bâtiments comprenant 350 logements ont été conçus par le bureau Canal en collaboration avec VINCI Construction France. Cette résidence universitaire à la structure dalle-champignon a été pensée en tenant compte des évolutions possibles des modes d'habiter dans le temps, des changements d'affectation et de la mutualisation des espaces. Les profondeurs des bâtiments variant entre 12 et 14 mètres permettent une réversibilité optimale.

#### Façades :

Les modules de façade préfabriqués non porteurs prennent place devant les dalles de béton. Ces caissons à ossature bois sont remplis d'isolant. L'enveloppe peut être facilement modifiée lors d'un changement d'affectation. Selon le bureau d'architecture, 90 % des éléments peuvent être conservés en cas de transformation du bâtiment. Ces façades sont rendues moins monotones grâce à des balcons et des loggias et pourraient s'assortir d'une multitude de revêtements.

Selon Vinci Construction France, cette manière de construire coûterait 10% de moins « par rapport aux coûts pratiqués localement », mais permettrait également de diminuer la durée totale du projet de 40% « par rapport à une opération classique »<sup>29</sup>. Le coût d'un bâtiment avec leurs façades préfabriquées s'élève en moyenne à 1 328 euros HT/m<sup>2</sup>, sans compter que le bâtiment est réversible, que la maintenance est aisée et que les façades permettent le remplacement et le réemploi de certains matériaux.

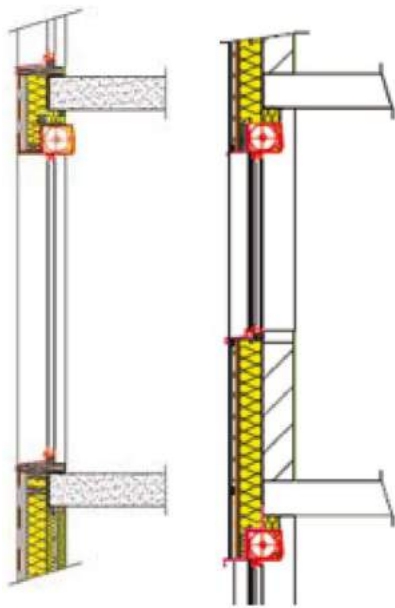


Figure 32 : Coupe du système constructif.

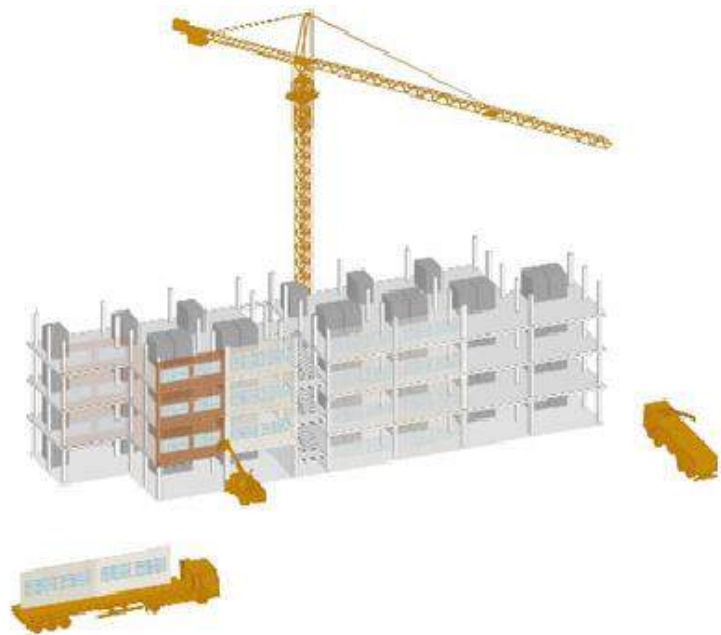


Figure 34 : Schéma de la manutention des modules.

Source : Pelegrin-Genel, 2013.

#### Point de vue critique

Si l'industrialisation des logements fait polémique, l'architecte Patrick Rubin défend l'idée que celle-ci peut permettre de loger des gens de manière quantitative mais également qualitative

<sup>29</sup> Jean-Paul Bourgneuf, directeur de l'habitat de Vinci Construction France, dans une interview pour Le Moniteur, <https://www.lemoniteur.fr/article/vinci-deploie-son-habitat-colonne.1411784>.

si elle est combinée à un souci de l'urbanisme ou encore du paysage. Le but premier n'est donc pas écologique, mais les façades n'en sont pas moins démontables et la conservation de 90 % des éléments de façade lors d'un changement d'affectation contribuent au zéro déchet. A nouveau, la préfabrication permet des coûts réduits et un temps de chantier court. Malheureusement, peu de détails et de documents techniques sont disponibles.

Un autre aspect intéressant du projet est la profondeur de plateaux de 12 mètres permettant une multitude d'affectations possibles et des évolutions de logement.

**Le système répond à 9 des 24 critères d'évaluation** : les zones sont indépendantes techniquement avec des techniques préfabriquées accessibles. Les modules sont démontables individuellement, couche par couche avec des matériaux recyclables et légers. Le transport se fera en camion, avec une manutention plus compliquée en raison des grandes dimensions des modules. Le chantier s'est réalisé rapidement, sans trop de nuisances.

### **1.6.8 Système Modul'Air (CSTC, 2021, Bruxelles)**

Le projet de recherche Modul'Air a pour but de créer des modules de façade préfabriqués afin de rénover rapidement des immeubles vétustes de la seconde partie du 20<sup>ème</sup> siècle. Leur but est d'en améliorer les performances énergétiques, les systèmes de ventilation, et enfin le confort des habitants ainsi que leur santé.

#### **Façade**

Les modules préfabriqués Modul'Air intégreront des systèmes de ventilation.

#### **Point de vue critique**

Le projet de recherche étant encore en cours, peu d'informations sont disponibles et aucun rendez-vous n'a été accepté. Ce qui est extrêmement intéressant dans ce projet, c'est l'intégration des techniques de ventilation en façade, ainsi que le fait qu'ils rénovent des immeubles construits à partir des années 50.

**Le système permettra certainement de répondre à 14 des 24 critères d'évaluation** : les zones seront indépendantes techniquement et la structure conservée. Les modules sont démontables individuellement, avec des matériaux qui pourraient être locaux, durables, biosourcés, recyclables et légers selon les projets futurs. Le transport se fera en camion, avec une manutention aisée, un chantier court, sans nuisances. Les modules sont performants et permettront peut-être l'occupation pendant les travaux.

## 1.6.9 Synthèse des pistes de réponse

Un des désavantages des façades démontables zéro déchet relève des surcoûts liés au temps de conception important et aux assemblages plus complexes que dans le cas d'une construction traditionnelle. Dans tous ces exemples, les façades sont préfabriquées afin de :

- Diminuer la durée du chantier et dans certains cas garder le bâtiment occupé ;
- Diminuer le nombre d'imprévus sur chantier ;  
Limiter la main-d'œuvre sur chantier ;
- Avoir des modules de façades performants grâce à la précision permise par le travail en atelier ;
- Réduire les nuisances durant le chantier.

Cette manière de faire permet donc de contrebalancer l'important besoin de main d'œuvre habituellement nécessaire au réemploi et les surcoûts. Dans le projet de Canal, le système constructif préfabriqué qu'ils mettent en place permet au contraire de diminuer le coût de 15 %, peut-être grâce à l'utilisation de matériaux moins durables. Pour un système de caisson préfabriqué, Gaëtan Duyckaerts, responsable de la transformation de l'unité de production des Ateliers de l'Avenir (Cimede), estime quant à lui qu'il faut compter un surcoût de 10 % par rapport à un système classique. Ce surcoût est cependant « amorti » par la réduction des coûts liés à la transformation du bâtiment, par la revente des matériaux et par la durée de chantier très courte. Certains de ces projets se rapprochent du zéro déchet, d'autres intègrent la technique en façade ou la standardisation, et d'autres encore expérimentent le réemploi, mais jamais les trois en même temps. Les critères des façades démontables zéro déchet ne sont jamais tous remplis. Peu de projets ont déjà réellement expérimenté la démontabilité. Dans le projet Greenbizz, la démontabilité a été expérimentée lors de l'incendie, où elle s'est révélée extrêmement utile. Selon Kyotech, façadier ayant travaillé avec Architectes Associés, cette démontabilité s'est également révélée utile dans certains de leurs chantiers lors de l'endommagement accidentel de modules.

Suite à l'entrevue avec Sabine Léribaux du bureau Architectes Associés et l'analyse des autres projets, il est possible de distinguer deux systèmes de modules préfabriqués démontables : les caissons et les cadres. Ces deux systèmes constructifs ont chacun leurs avantages et leurs inconvénients. Tout d'abord, les caissons sont plus faciles à démonter un par un et moins chers. Mais ceux-ci sont moins durables que les cadres et le silicone ajouté sur chantier réduit leur « réemployabilité ». Les cadres se prêtent au réemploi et leur étanchéité est plus pérenne. Il est également très intéressant de constater qu'une tolérance au niveau du gros œuvre pourrait être rattrapée avec ce système. Ces points seront développés plus loin.





## Partie 2

# Proposition de conseils pratiques

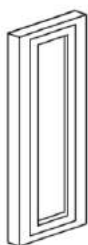
---

Les conseils répertoriés ci-dessous ont été élaborés par l'auteur sur base des projets étudiés ci-dessus et de la confrontation de l'approche théorique avec le cas d'étude présenté plus bas. Ils répondent aux critères d'évaluation des façades démontables zéro déchet.

### 2.1 Dimensionnement des modules

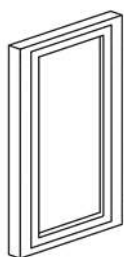
Bien que les dimensions dépendent également du bâtiment existant comme par exemple la hauteur du module, il est important de créer des modules répondant au mieux aux critères du zéro déchet et de la préfabrication.

#### 2.1.1 Largeurs des modules :



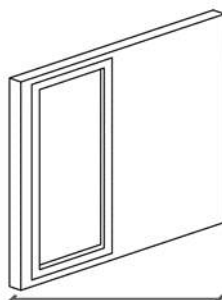
0,9 - 1,2 m

1) Modules de petites dimensions : entre 0,9 et 1,2m. De petits modules engendrent plus de pertes de matière, de perte de place dans le transport, de profils à usiner, de joints et de finitions et donc des coûts plus élevés. Comme vu plus haut dans le projet Aéropolis 2 d'Architectes Associés, ces petits modules de 90 cm de large permettent néanmoins une grande modularité et une manutention aisée.



1,3 - 1,8 m

2) Modules de dimensions moyennes : entre 1,3 et 1,8m. Ces dimensions sont idéales pour le transport. En effet, les modules sont généralement acheminés par camion ou par camion grue. Ceux-ci permettent de placer les modules sur la façade sans disposer d'échafaudages, ce qui raccourcit la durée du chantier. Pour ce type de transport, Thierry Foucart du groupe de façadiers Kyotech qui a travaillé avec Architectes Associés sur Loi 227 recommande de créer des modules de 1,3 à 1,8 mètres de large. Ces dimensions permettent de ne pas perdre de place et donc d'avoir un nombre de trajets plus réduit. De plus, ces dimensions permettent encore une manipulation aisée.



1,9 - 6 m

3) Modules de grandes dimensions : entre 1,9 et 6m. Ces modules sont moins optimaux au niveau de la flexibilité ainsi que de la manutention. Leur mise en œuvre et leur démontage seront plus compliqués au niveau des moyens à mettre en œuvre, bien que celle-ci soit au final plus rapide. Le transport est également plus complexe, nécessitant d'énormes remorques pour les plus grands modules. Ce genre de module permet un démontage par étage, engendrant un chantier plus lourd. CIMEDE emploie souvent des dimensions aussi importantes.

Figure 35 : Largeurs des modules. Source de l'image : Schéma réalisé par l'auteur.

### 2.1.2 Dimensions en fonction des matériaux

Certaines dimensions sont à respecter pour limiter les pertes de matière. Les plaques de verre, par exemple, ont des dimensions de 3,2 mètres de large sur 6 mètres de long. Afin de limiter les déchets, il faut réussir à créer un vitrage respectant ces dimensions de base. Il faut également tenir compte des dimensions disponibles chez les fournisseurs pour les plaques fermant le module afin de ne pas avoir de trop grandes chutes.

### 2.1.3 Diversité des modules

Il peut être intéressant de créer plusieurs types de modules : un module plein, un module avec un grand pourcentage de vitre et un module avec un pourcentage de vitrage moyen. Cela permet plus de modularité, une réponse adéquate aux besoins de la pièce abritée derrière le module et atténue le côté répétitif engendré par les modules préfabriqués. Cette manière de faire a été observée dans le projet Aéropolis 2 d'Architectes Associés.

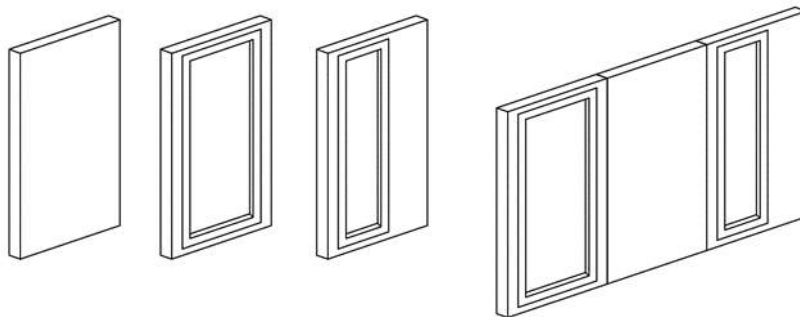


Figure 36 : Variété de modules.  
Source de l'image : Schéma réalisé par l'auteur.

### 2.1.4 Dimensions utiles pour les locaux

Idéalement, les modules devraient pouvoir former un local d'environ 2,7 mètres, qui peut correspondre à la largeur d'un bureau ou d'une chambre. Deux modules de 1,35 mètres par exemple forment donc un local.

### 2.1.5 Synthèse

L'idéal semble être des modules d'environ 1,3 ou 1,5 mètres. Facilement manipulables, économiques pour le transport en camion, ils engendrent moins de déchets. La combinaison de trois types de modules permettent moins de répétition et une réponse plus appropriée à l'espace qui prendra place derrière la façade. Un module complètement plein, un module complètement vitré et un module mixte vitré et plein à la fois.

## 2.2 Cadre et caisson

Dans les références, deux sortes de modules préfabriqués en atelier sont présents : les caissons et les cadres. Leur différence réside surtout dans la manière dont est réalisée l'étanchéité à l'air.

### 2.2.1 Cadre (Loi 227, Aéropolis 2, etc.)

#### Présentation

La caractéristique principale de ce système est que la jonction entre les cadres se fait par un serrage mécanique qui assure l'étanchéité à l'air. La jonction est donc réalisée par l'imbrication de deux pièces en bois avec une pièce EPDM. Dans l'exemple ci-dessous une pièce EPDM est mise entre les deux cadres, mais peu de membranes pétrochimiques sont nécessaires. Il y a deux zones d'étanchéité à l'air par précaution, bien que cela ne soit pas vraiment nécessaire. Le pare pluie est toujours dans le même plan ce qui permet de retirer le revêtement de façade facilement. Comme dit plus haut, l'étanchéité se faisant par serrage mécanique, cela rend le démontage module par module plus difficile. Le démontage par étage est au contraire aisé et rapide. Ce système permet sans doute une tolérance au niveau du gros œuvre grâce à la pièce EPDM.

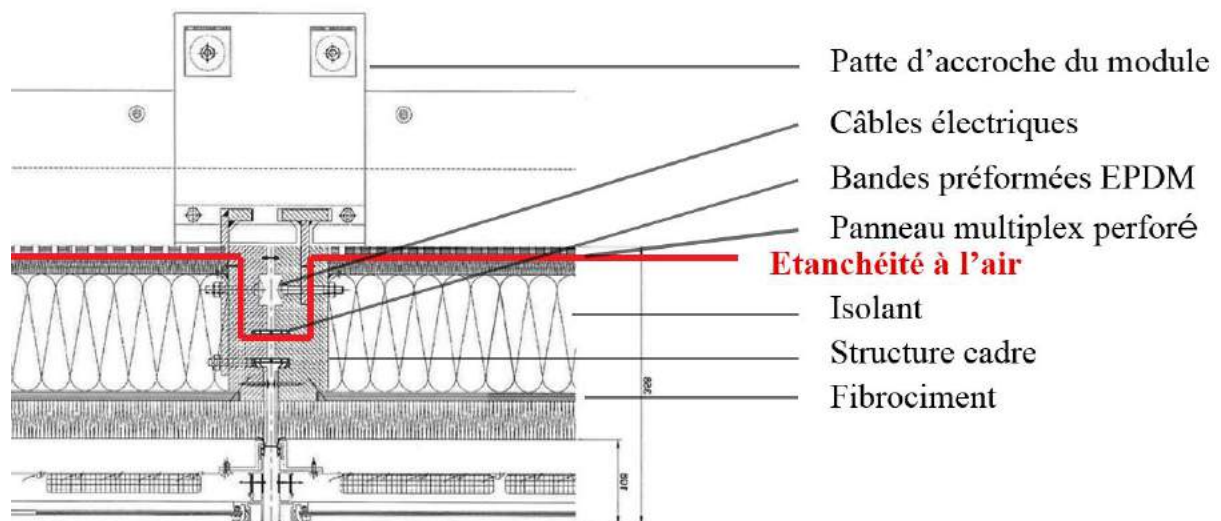


Figure 37: Composition du module

Source : Image donnée par Sabine Leribaux lors d'une entrevue et modifiée par l'auteur.

#### Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
Démontage par étage aisé	Démontage module par module : ½ journée par module.
Pérenne	Un peu cher
Moins de membrane d'étanchéité à l'air	Complexe : seuls quelques sociétés savent le réaliser.
Tolérance permise	

## 2.2.2 Caisson (Elia Green Building, Greenbizz, Cuesmes,...)

### Présentation

La caractéristique principale des caissons est que la jonction se réalise par le chevauchement de deux membranes d'étanchéité à l'air. Dans les exemples vus plus haut, cette jonction est réalisée avec du tape qui a tendance à se déchirer sur chantier. Les caissons en bois sont remplis d'isolant. Dans ce cas-ci, il est plus difficile de rattraper des tolérances.

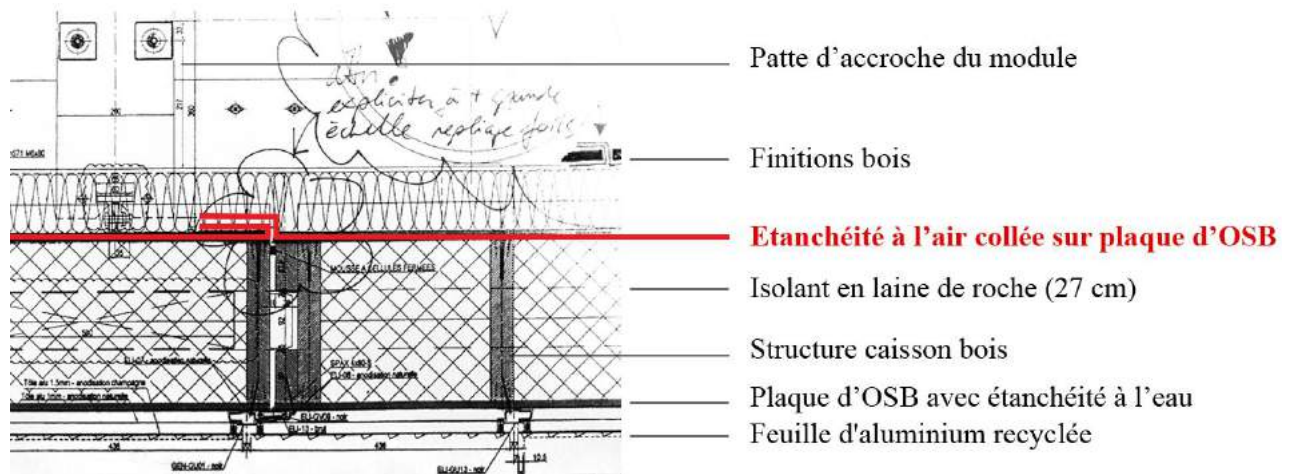


Figure 38: Composition du module

Source : Image donnée par Sabine Leribaux lors d'une entrevue et modifiée par l'auteur.

### Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
Démontable module par module à l'aide d'une scie.	Démontage par étage impossible.
Un peu moins cher.	Peu pérenne. Tape pour l'étanchéité aux jonctions : fragile.
Simple à réaliser	Membrane d'étanchéité obligatoire ?
	Tolérance du gros œuvre : plus compliqué

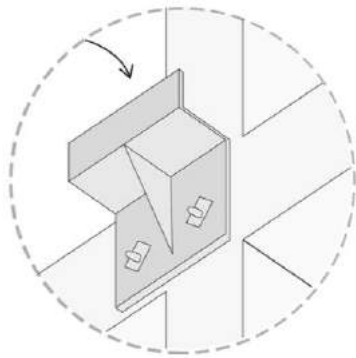
## 2.2.3 Synthèse

Bien qu'il soit plus difficilement démontable module par module (un peu moins d'une demi-journée par module), le système de cadre semble être la meilleure solution grâce à la jonction entre modules qui se fait de manière mécanique. Les cadres sont pérennes, usent peu de membranes d'étanchéité, et peuvent être facilement et rapidement démontés par étage. Un autre avantage et non des moindres est que ce système permet sans doute des tolérances au niveau du gros œuvre grâce à la pièce EPDM à la jonction qui pourrait s'adapter. Cependant, dans un scénario où on a la certitude que les modules seront changés extrêmement souvent, le système caisson semble plus approprié.

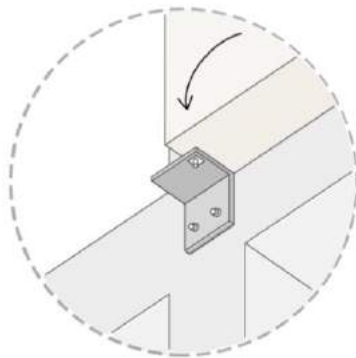
## 2.3 Accroche des modules

Il existe plusieurs types d'accroche du module à la structure. Les exemples ci-dessous ont été rencontrés dans des projets existants. Il n'y a à mon sens pas de réels avantages et inconvénients à ces différentes accroches puisque celles-ci ont été créées afin de répondre au mieux au module créé et à la structure existante.

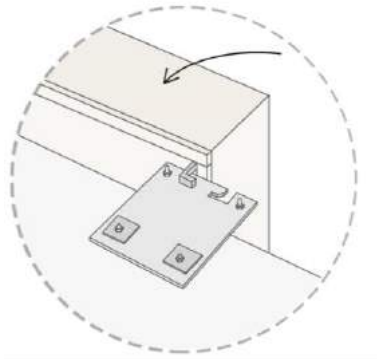
1) Le premier type d'accroche consiste en un élément métallique fixé à la structure auquel les modules viennent s'accrocher via des pattes en métal elles aussi. Les pattes en métal sont fixées au montant en bois des modules. Dans le cas d'une structure dalle-champignon, il nécessite une épaisseur de dalle assez importante pour éviter que le béton n'éclate. Dans le cas d'une structure poteau poutre, il pourra être placé au croisement de la poutre et du poteau (voir schéma). Ce genre d'accroche est utilisé dans le projet Loi 227 d'Architectes Associés.



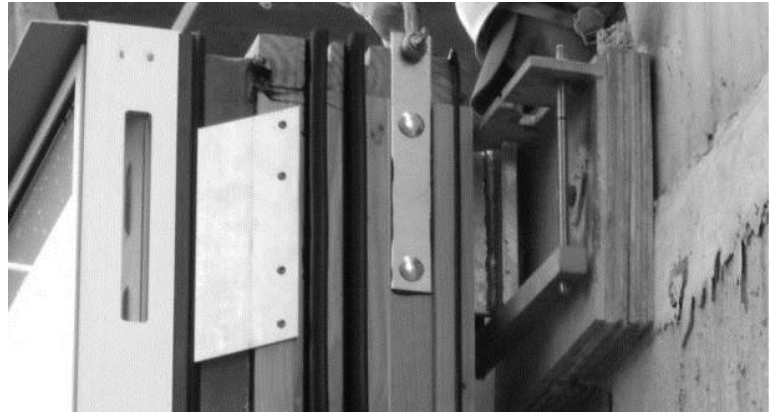
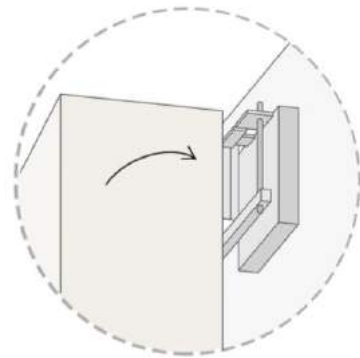
2) Cette accroche s'apparente à une équerre métallique fixée dans l'épaisseur de la dalle et dans le montant du module à l'aide de vis. Elle supporte le bas du module et doit par conséquent être utilisées avec d'autres fixations ponctuelles à mi-hauteur et en tête du module. Elle a été utilisée dans le projet HD54 d'Architectes Associés.



3) Ici, la patte métallique est fixée à la surface plane de la dalle. Cela permet de fixer le module dans le cas où la dalle est peu épaisse. Elle est idéale dans le cas d'une structure dalle-champignons. Elle a été utilisée dans le projet Aéropolis 2 d'Architectes Associés.



4) Cette patte d'accroche se fixe au nez de la dalle et demande une épaisseur de dalle importante.



5) Dans ce cas-ci, les modules sont placés entre les colonnes, ce qui peut occasionner des ponts thermiques si aucune isolation n'assure le raccord entre colonnes. Cette accroche s'apparente à des pattes métalliques s'agrafant aux modules et aux colonnes. Des pattes supplémentaires en L peuvent être placées. Elle a été utilisée dans le projet Cuesmes des Ateliers de l'Avenir utilisant les modules CIMEDE.

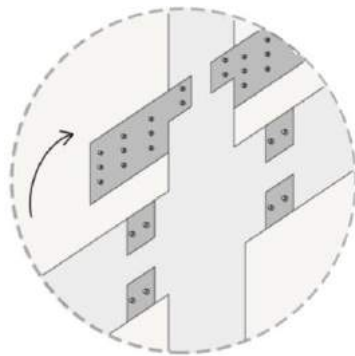


Figure 39, 41, 43, 45, 47 : Pattes d'accroches possibles. Source : Documents réalisés par l'auteur.  
 Figure 40, 42, 44, 46 : Accroches des modules. Source : Architectes Associés, 2018.  
 Figure 48 : Accroches de Cuesmes. Source : Gaëtan Duyckaerts des Ateliers de l'Avenir lors d'une entrevue.

## 2.4 Matériaux

Comme dit plus haut, les assemblages secs des façades démontables zéro-déchet doivent s'accompagner de matériaux écologiques durables. Une définition de ces matériaux a été donnée dans la partie « pistes d'action ». D'autres matériaux peu écologiques à la base et propices au démontage (tels que les panneaux d'aluminium) peuvent être considérés comme des choix écologiques à partir du moment où ils sont recyclés ou utilisés comme matériaux de réemploi. Ceux-ci sont souvent moins onéreux. Il est préférable que les matériaux soient biosourcés, et ceux-ci doivent être durables et réemployables. Un léger pourcentage de matériaux recyclables doit être toléré, car il est actuellement impossible de réaliser une façade efficace thermiquement sans un minimum de membrane pétrochimique<sup>30</sup>.

### 2.4.1 Structure du bâtiment

Dans le cas d'une construction neuve, une structure supportant la façade démontable doit être créée. Le but est qu'elle soit pérenne afin de résister dans le temps, et ce malgré tous les changements de façades qui pourront s'effectuer.

#### 1) Le bois

De nos jours, de plus en plus de bâtiments utilisent une structure bois. Selon l'auteure et architecte française Nadia Hoyet dans son livre *Matériaux et architecture durable*, le bois répond parfaitement aux critères environnementaux ainsi qu'aux critères des assemblages secs. De plus, certaines constructions en bois qui datent de centaines d'années attestent de sa durabilité. Une fois correctement mis en œuvre, le bois ne doit être renouvelé que très rarement. Une grande attention doit néanmoins être apportée à la résistance au feu. Des pièces métalliques supplémentaires doivent être ajoutées.

#### 2) Le béton

Le béton peut être un bon matériau pour la réalisation de la structure d'un bâtiment. Bien qu'il présente un bilan environnemental élevé lors de sa fabrication et qu'il soit peu recyclable, il a une longévité allant jusqu'à plusieurs centaines d'années. Selon Nadia Hoyet, son taux de renouvellement est proche de celui de la pierre, à condition qu'il ne subisse pas de dommage au niveau des ferraillements. Cependant, ce matériau monolithique ne peut être transformé sans passer par une démolition engendrant des gravats. Ce matériau se justifie donc en structure (surtout s'il présente l'usage de granulats recyclés dans sa composition) pour peu que le bâtiment ne soit pas détruit après 15 ans.

### 2.4.2 Structure du module

Le matériau le plus adapté à la structure des modules est le bois plutôt que le métal. En effet, ce matériau réemployable est plus adapté aux différents assemblages secs (tenons et mortaise, etc.) et permet des pièces enchâssées afin de réaliser l'étanchéité à l'air entre modules. Sa production est également moins énergivore que le métal et son potentiel de réemploi est plus élevé. De plus, celui-ci est moins conducteur que le métal, peut se placer dans l'épaisseur de l'isolant et est plus stable. C'est également un matériau relativement léger.

---

<sup>30</sup> Source : entrevue avec Thierry Foucart, Président au sein de l'entreprise KYOTEC France (façadier).

### 1) Le pin d'Orégon

Le pin d'Orégon produit en Belgique est conseillé par le bureau Architectes Associés. Celui-ci doit être séché d'une façon particulière afin d'acquérir la densité nécessaire d'un élément structurel de façade. Il est assez stable et durable, mais présente un coût un peu élevé.

### 2) Le SVL ou le LBL

Le SVL (Structural Veneer Lumber) ou le LBL (Laminated Veneer Lumber) sont également fortement conseillés. Ceux-ci sont composés de couches collées et pressées ensemble qui s'avèrent très stables.

### 3) L'épicéa

L'épicéa, bois belge, est utilisé et recommandé par les Ateliers de l'Avenir.

### 4) Le sapin blanc

Le sapin blanc : idem que l'épicéa.

## 2.4.3 Plaques fermant le module

### 1) L'OSB

L'OSB peut être utilisé pour son prix moindre mais peut se révéler moins qualitatif car comme tout bois lamellé-collé il présente des nœuds qui risqueraient de sauter dans le temps si l'eau y stagne. Cependant ce panneau est pare-vapeur et permet de diminuer l'utilisation de membrane pétrochimique à l'intérieur.

### 2) Les panneaux de bois aggloméré pare-pluie

Ces plaques s'utilisent du côté extérieur pour leur rôle de pare-pluie.

## 2.4.4 Isolation du module

Les isolants écologiques en panneaux rigides, en vrac, en matelas ou en panneaux sont à préférer par rapport aux mousses de remplissage ou à projeter ou d'autres isolants issus de la pétrochimie (EPS, PUR, XPS, etc.). Les matériaux en vrac semblent néanmoins plus compliqués pour le démontage par couche. En effet, lors du démontage module par module, l'isolant en vrac ne pose pas de problème, mais dans le cas d'un simple changement du revêtement, sa présence pourrait s'avérer plus complexe. Une sélection de matériaux isolants réalisée sur base de la thèse d'Anne Paduart sur le *Design\_for\_Change* et des caractéristiques de chaque matériau est proposée ci-dessous.

### 1) La cellulose

Cet isolant biosourcé est réalisé à base de papier recyclé et également recyclable. Il est cependant moyennement réemployable selon Anne Paduart. Il se présente en vrac ou sous forme de matelas. La cellulose en vrac peut présenter des problèmes de densité, les matelas sont par conséquent à préconiser. Elle est difficilement inflammable et présente un coefficient de conductivité thermique de  $0.045 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

### 2) Les fibres de bois

Ce matériau est réalisé avec du bois ou des copeaux de bois recyclés. Il est également moyennement réemployable. Les panneaux sont à privilégier pour les mêmes raisons



que pour la cellulose. Il présente un coefficient de conductivité thermique identique à la cellulose de 0.045 W/m<sup>2</sup>K.

### **3) La laine de roche**

Ce matériau est résistant à l'eau et au feu. Il s'agit cependant d'un matériau cuit, donc moins recyclable que la cellulose. Cependant, selon Anne Paduart, « comparé à d'autres matériaux isolants, les laines minérales ont un potentiel élevé de réutilisation. », ce qui est un point non négligeable. Son coefficient de conductivité thermique varie entre 0,045W/m<sup>2</sup>K et 0,033W/m<sup>2</sup>K.

### **4) La laine de verre**

Ce matériau présente également une bonne résistance au feu et est peu hygroscopique. Il présente une bonne absorption acoustique. Son coefficient de conductivité thermique est environ de 0,045W/m<sup>2</sup>K.

## **2.4.5 Revêtement du module**

Différents revêtements sont possibles, chacun présentant des avantages et inconvénients.

### **1) La pierre naturelle**

Selon Rotor, la pierre, matériau biosourcé, est « susceptible de conserver une haute valeur ajoutée » et peut se revendre jusque 50 fois plus cher que son prix de base. Si ceux-ci peuvent s'avérer onéreux à l'achat, l'amortissement de ce coût lors du réemploi est assuré par le prix de revente. Lors d'une entrevue, Rotor conseille plus spécifiquement le granit. Ce matériau assez demandé garde de la valeur à travers le temps. Les pierres doivent être agrafées afin de répondre aux critères des assemblages à sec. Une pierre naturelle mince est donc conseillée pour son poids moins élevé. Néanmoins, la pierre n'est utilisée dans ce cas-ci que pour son rôle de parement et elle perd son rôle structurel. La notion d'appareillage, de lit est perdue car les agrafes permettent toutes sortes d'assemblages dont le but est uniquement esthétique. Le joint est vide, reflétant une paroi moins continue. Ce matériau reste extrêmement lourd, ce qui peut être un obstacle à son utilisation, surtout en préfabrication. La pierre doit être produite localement où provenir du réemploi s'il est possible de s'en procurer assez.

### **2) L'aluminium anodisé recyclé**

Ce matériau recyclé présente une production peu énergivore par rapport aux autres métaux. Sa production reste cependant gourmande en énergie par rapport à la pierre ou à la terre cuite. Il ne nécessite pas de traitement rendant son recyclage difficile au contraire de l'acier qui est souvent laqué. Il est néanmoins difficilement réemployable tel quel.

### **3) L'acier de réemploi**

Ce matériau peut se justifier s'il est issu du réemploi. Les structures en acier peuvent être démontables selon leurs assemblages. L'acier est souvent thermolaqué, plastifié ou prélaqué, ce qui peut parfois rendre son recyclage moins aisé.

### **4) Le verre de réemploi**

Celui-ci doit répondre aux exigences actuelles et être feuilleté, ce qui implique une fabrication assez récente. Sa transparence implique un matériau de parement derrière le vitrage. De plus, il est peut s'avérer extrêmement compliqué de trouver des châssis correspondant exactement aux dimensions des modules et très énergivore de produire de

nouveaux châssis métalliques sur mesure. Selon Nadia Hoyet, sa durée de vie correspond à celle du bâtiment.

### 5) La terre cuite

Certains produits en terre cuite peuvent être montés à sec et ainsi être démontables et réversibles. Le système ClickBrick de Daas Backsteen découvert dans le TFE de Louise Deprins consiste en un système de briques extrudées empilées sans mortier à l'aide d'attaches et sans joints. D'autres systèmes du genre se clipsent dans une sous structure métallique. La production du métal ne se justifie que si le système est réemployé plusieurs fois. Il est cependant délicat de préfabriquer ce revêtement. Leur aspect extérieur pourrait laisser penser qu'elles jouent un rôle structurel mais l'absence de joint permet de les distinguer d'une pose classique. Le fabricant soutient que leur réemploi est tout à fait possible car les briques cassées ou endommagées sont très rares. Les petites dimensions des briques engendrent un temps de mise en œuvre plus importante ce qui augmente le coût des modules. La mosaïque (HD54, Architectes Associés) engendre elle aussi beaucoup de mise en œuvre et donc du temps et de l'énergie. Son vernis rend le recyclage moins aisé. Cependant, son application en façade demande un mortier qui pourrait se prêter au réemploi, et est assez originale car peu fréquente.

La terre cuite présente une durée de vie allant jusque 100 ans et peut prendre de la valeur avec le temps. Cependant, les joints entre modules pourraient disparaître, ne laissant pas deviner la présence de la démontabilité.

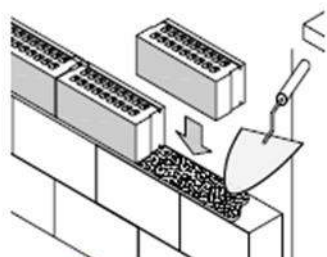


Figure 4: Traditional use of mortar

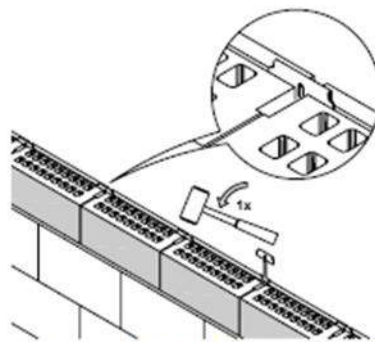


Figure 5: ClickBrick assembly system

Figure 49 : Système ClickBrick  
Source : Deprins, 2015.

### 6) Bardage en bois

Le bois peut également être utilisé en parement sous forme de planches ou encore de panneaux en bois compressé. Les essences choisies peuvent être imputrescibles (cèdre, mélèze, etc.) ou thermo-traitées afin de les rendre imputrescibles (sapin, etc.). Le bois brûlé ou encore de récupération peuvent constituer une solution originale pour une enveloppe. Le cèdre brûlé présente de meilleures performances qu'un bois normal et peut avoir une durée de vie allant jusque 80 ans. Un autre avantage du bois brûlé est que ce matériau peut également provenir de tous types de parquet de réemploi ayant une épaisseur égale ou supérieure à 2,5 cm, qui sera ensuite décapé, brûlé et enduit d'huile de lin. Sa pose est simple et rapide et remplacement peut facilement se faire manuellement. La démarcation entre les différents modules est clairement visible, ne laissant pas de doute quant à la présence de modules démontables. Ce matériau est également assez léger, ce qui est idéal pour les modules préfabriqués. Une alternative moins chère et aussi esthétique que le bois brûlé pourrait être un bardage bois enduit d'une peinture écologique à base d'argile brûlée, mais cette solution se révèle moins durable dans le temps.

Le tableau ci-dessous est donné à titre d'information. Il indique les besoins énergétiques nécessaires à la fabrication et / ou production des matériaux de construction sélectionnés. Les chiffres les plus élevés correspondent à une production ou fabrication très énergivore, ces matériaux ne se justifient donc que s'ils sont issus du réemploi.

<b>Material</b>	<b>kWh/tonne</b>	<b>kWh/m<sup>3</sup></b>
1. Briques de Fletton	175	300
2. Briques sans fletton	860	1,462
3. Briques d'ingénierie	1,120	2,016
4. Tuiles d'argile	800	1,520
5. Dalles en béton	300	630
6. carreaux de pierre locale	200	450
7. Ardoises locales	200	540
8. Membrane de toiture monocouche	45,000	47,000
9. Béton 1: 3: 6	275	600
10. Béton 1: 2: 4	360	800
11. Blocs légers	500	600
12. Blocs autoclavés	1,300	800
13. Sable naturel / agrégat	30	45
14. Granulat concassé	100	150
15. Granulat léger	500	300
16. ciment	2,200	2,860
17. Enduit sable / ciment	277	400
18. Plâtre / plaque de plâtre	890	900
19. Acier	13,200	103,000
20. Cuivre	15,000	133,000
21. Aluminium	27,000	75,600
22. Bois d'oeuvre (résineux importé)	1,450	754
23. Bois (local séché à l'air)	200	110
24. Bois de construction (greenoak local)	200	220
25. Verre	9,200	23,000
26. Plastiques	45,000	47,000
27. Isolation en plastique		1,125
28. Laine minérale		230
29. Isolation en cellulose		133
30. Laine de bois (en vrac)		900

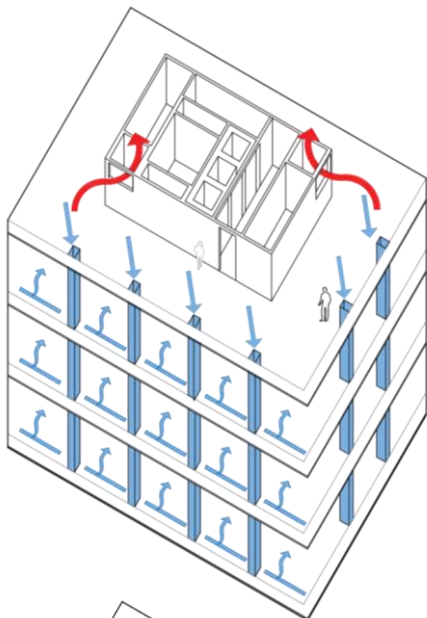
Figure 50 : Besoins énergétiques nécessaires à la fabrication et / ou production des matériaux  
Source : Guldager, SOMMER, 2016, traduit par l'auteur.

## **2.5 Occupation pendant les travaux**

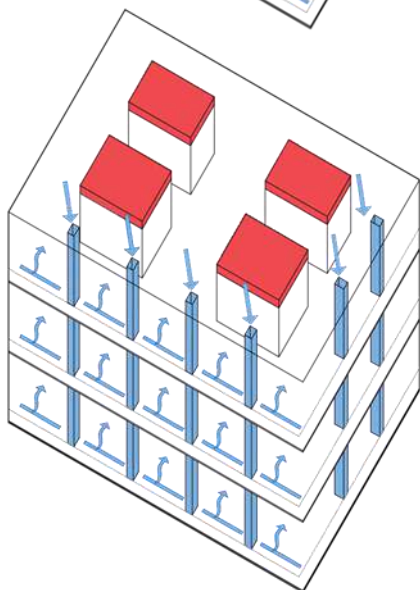
L'occupation du bâtiment pendant les travaux permet de diminuer les coûts. Dans le cas du bâtiment Loi 227, le chantier n'a duré qu'une semaine au cours de laquelle les employés étaient en vacances. Dans les projets de CIMEDE, 20 à 30 caissons peuvent être fixés en un jour à peine. Normalement, de grandes bâches réemployables en plastique doivent être fixées sur chantier. En réalité, certains chantiers n'en ont même pas dû y recourir. Dans le projet AIM-ES, le bâtiment peut rester occupé pendant les travaux sans aucune protection grâce aux modules qui se placent sur la façade existante.

## 2.6 Détermination des techniques

En général, l'électricité demande une dizaine de centimètres et peut facilement prendre place le long du plafond quelle que soit la hauteur entre dalles. Les techniques relatives à l'alimentation en eau prennent également peu de place puisque celles-ci ne nécessitent que 5 cm en plancher. Placer l'alimentation en eau en façade nécessiterait d'avoir toutes les pièces d'eau le long de celle-ci alors qu'elles ont avantage à se trouver au centre du plateau étant donné la grande profondeur de certains bâtiments. De cette façon le bâtiment présente un noyau de service au centre. Au contraire, les techniques de ventilation demandent un espace bien plus conséquent pouvant aller jusqu'à 60 cm et ne peuvent pas être placées dans la façade. Etant donné leur durée de vie plus courte que d'autres éléments de façade, il est important qu'elles restent accessibles depuis l'intérieur du bâtiment et qu'elles soient indépendantes des autres couches. Chaque pièce « sèche » doit bénéficier d'une alimentation en air neuf. Plusieurs solutions concernant les techniques de ventilation en façade sont explicitées ci-dessous. Le récupérateur de chaleur se trouve toujours au niveau du groupe central en toiture ou en cave<sup>31</sup>.

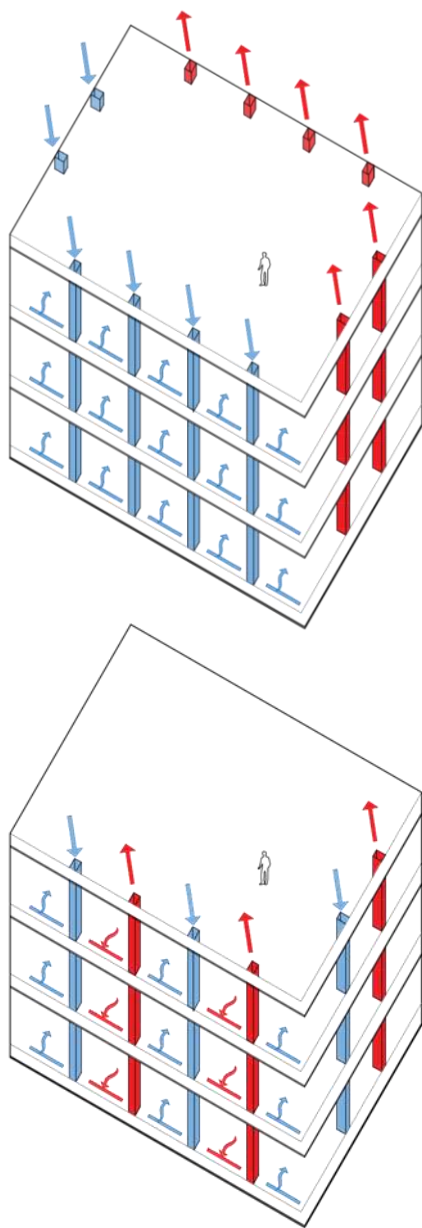


1) L'extraction en gaine centrale permet d'avoir l'assurance que l'air circulera bien dans les locaux car l'air frais arrive dans les locaux et est ensuite aspiré au centre pour être évacué. Cependant, ce système ne permet pas de cloisonner, à moins que l'air vicié soit d'abord évacué par des trémies horizontales ce qui est parfois difficile lorsque la hauteur sous dalle est basse. Ce système implique un groupe en toiture.



2) L'évacuation de l'air vicié peut se faire par des espaces de service centraux bas de plafond comme des salles de bains ou des buanderies. Ces espaces de service sont souvent placés au centre car ils peuvent se passer de lumière naturelle et restent assez stable dans le temps car ceux-ci sont plus difficiles à changer de place.

<sup>31</sup> Source : je me base sur les propos de mon co-promoteur, Geoffrey Van Moeseke, ingénieur civil architecte.



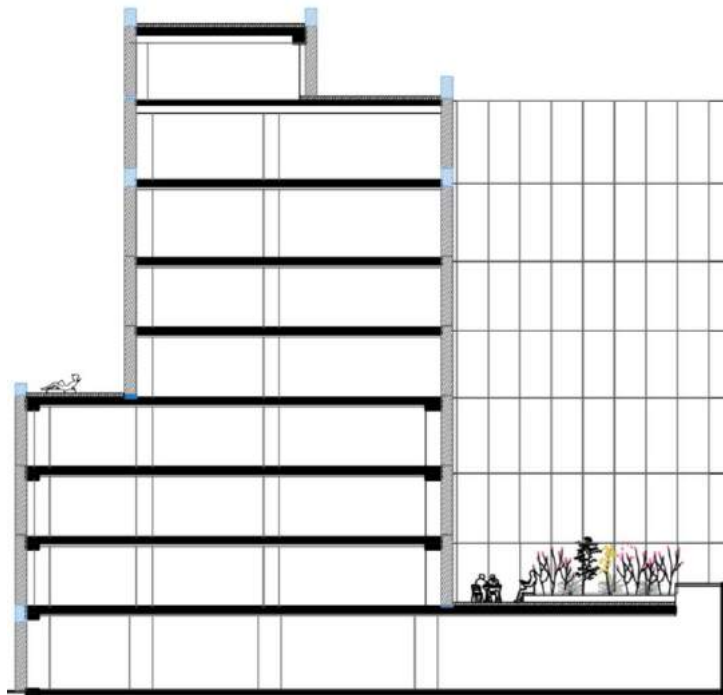
3) L'alimentation en façade et l'évacuation par la façade opposée peuvent être une bonne solution pour que l'air véhicule dans les espaces. Cependant, cette solution implique un minimum d'espaces traversants d'une façade à l'autre. En effet, certains espaces peuvent être cloisonnés (ex : salles de réunions) mais leur cloisonnement devra être prévu à l'avance.

4) L'extraction et la ventilation peuvent difficilement se faire sur la même façade, sauf si un module sur deux amène de l'air neuf et un module sur deux l'évacue. Même de cette façon, l'air ne se distribuera sans doute pas de manière homogène dans les locaux.

Figure 51 à 55 : Techniques de ventilation.  
Source : Schémas réalisés par l'auteur.

## 2.7 Gestion des différences de niveaux

Dans le cas d'une rénovation, les hauteurs entre dalles ne sont pas toujours identiques. Le but d'une façade démontable est que les modules soient identiques afin qu'ils puissent facilement être remplacés en cas d'endommagement et qu'ils soient si possible réemployés tel quel soit sur une autre façade, soit démontés et réemployés matériaux par matériaux. Deux solutions sont possibles lorsque des différences de niveau se présentent :



### 1) Modules identiques et pièces de raccord :

Dans cette solution, il peut être difficile voire impossible de réussir à accrocher les modules à la dalle ou aux colonnes à cause de la pièce de raccord. Elle est cependant plus rapide car les modules à préfabriquer seront identiques.



### 2) Plusieurs types de modules :

Plusieurs types de modules peuvent être utilisés dans la mesure du raisonnable. Il est préférable qu'un type de module serve en moyenne à trois étages. Cette solution est plus simple que l'utilisation de pièces de raccord, mais moins rapide au niveau de la préfabrication en atelier.

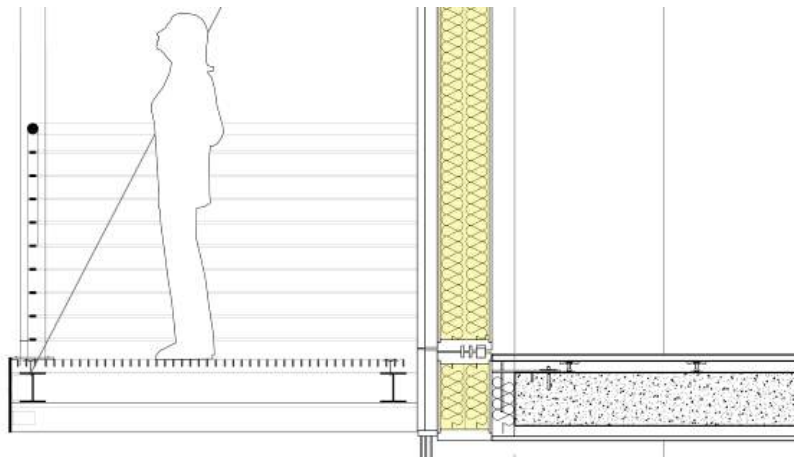
Figure 56 et 57 : Gestion des différences de niveau.  
Source : Schémas réalisés par l'auteur.

## 2.8 Percement ou destruction de la dalle ?

Dans le cas des immeubles de bureaux des années 60-70, la profondeur des plateaux peut être très grande (de 13 à 18 mètres) engendrant un manque considérable de lumière dans le cas d'une réhabilitation en logements. Dans le cas d'une profondeur inférieure à 14 mètres, la dalle peut être conservée telle quelle et les services souvent placés au centre. Mais dans le cas d'une dalle présentant une profondeur de 18 mètres par exemple, conserver une telle profondeur devient délicat. Plusieurs solutions sont alors possibles par rapport à la dalle qui supportera la façade :

### 1) Destruction de la dalle

Cette solution implique une certaine quantité de déchets. Dans le cas de la création de terrasses, c'est une nouvelle structure métallique qui doit être créée, demandant beaucoup d'énergie à la production. Dans ce système, la façade est réalisée puis la terrasse prend place devant celle-ci, ce qui peut engendrer une faiblesse thermique à l'endroit de l'accroche de la terrasse.



### 2) Creusement de la dalle

Si la volonté est de créer des terrasses pour les logements, préserver la dalle occasionne moins de dépense de matière et de déchet et permet de garder le langage du bâtiment d'origine. Cela permet également de faire passer davantage de lumière. Dans ce cas-ci, les modules de façade sont glissés le long de la façade par le haut du bâtiment, et les ouvriers les réceptionnent facilement en étant campés sur la dalle. En cas de maintenance, les modules devant les dalles seront très facilement accessibles. Des modules différents doivent prendre place devant les colonnes afin d'éviter un pont thermique. Cette solution semble être la plus écologique.

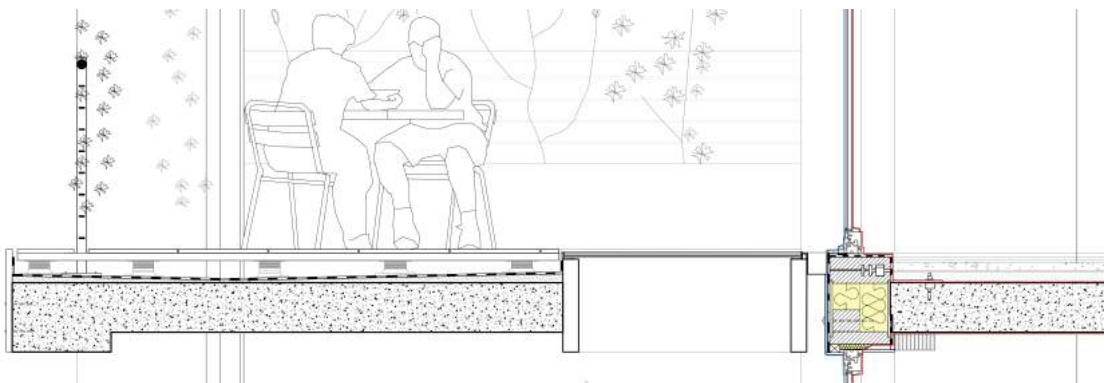


Figure 58 et 59 : Création d'une nouvelle structure et conservation de la structure existante.  
Source : Schémas réalisés par l'auteur.



# Partie 3

## Projet de fin d'études

---

### 3.1 Cas d'étude

Le cas d'étude est un bâtiment des années 70 situé au numéro 10 rue Montoyer à Bruxelles. Au cœur du quartier européen qui a été choisi pour sa mono-fonctionnalité, ce bâtiment de bureau de près de 8 étages appartenant à la société de gestion immobilière Cofinimmo pourrait être prochainement détruit à cause de sa faible hauteur sous plafond. D'apparence assez ordinaire, cet édifice est un bâtiment comme beaucoup d'autres dans le quartier.

Les plans du bâtiment 10 rue Montoyer sont confidentiels et ne peuvent être divulgués.



Figure 60 : Bâtiment existant. Source : photos prises par l'auteur.

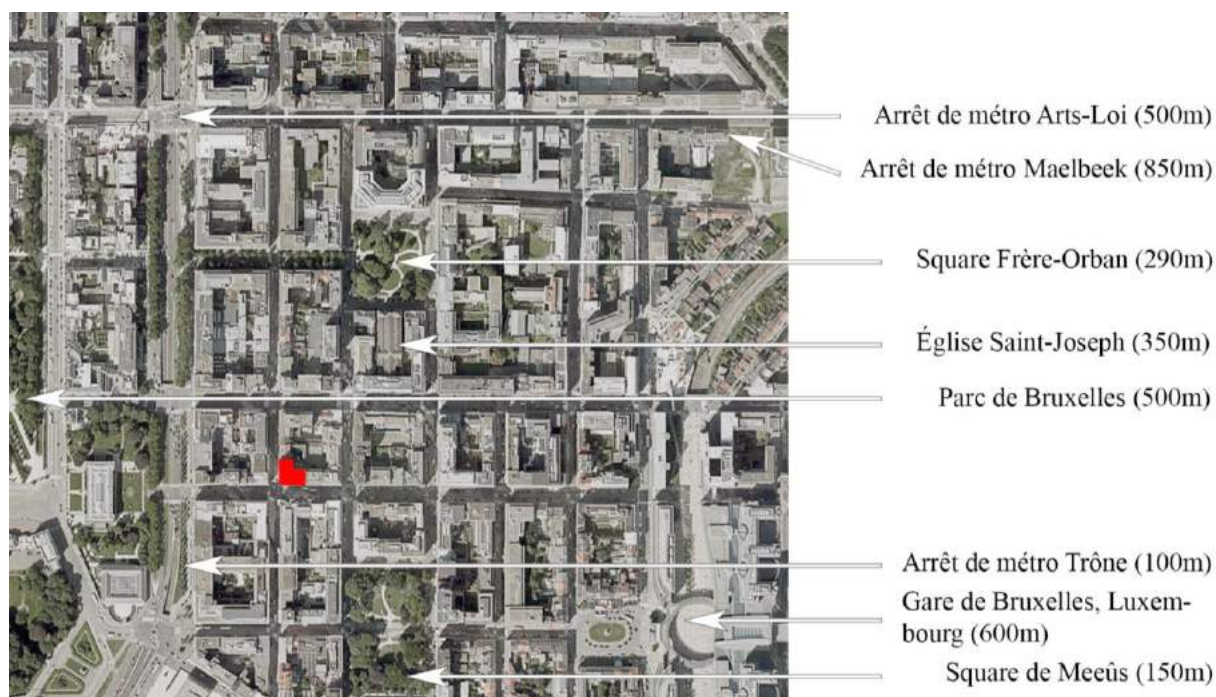


Figure 61 : Le cas d'étude et son contexte. Source : Schéma réalisé par l'auteur.

## 3.2 Contexte

### 3.2.1 Le Quartier européen

Le quartier choisi est le quartier européen. C'est un quartier monofonctionnel présentant massivement des bâtiments de bureaux. Selon Vincent Carton<sup>32</sup>, urbaniste, cette concentration de bureaux engendre de nombreux problèmes tels qu'une pollution importante, l'absence d'équipements publics ou encore un sentiment d'insécurité la nuit. En effet, ces bâtiments ne prennent vie que quelques heures<sup>33</sup> par jour et s'éteignent une fois le soir tombé, aucun habitant n'étant présent pour animer les lieux. D'autres bâtiments sont même abandonnés, offrant une façade dépourvue de vie aux passants. Selon l'Observatoire des bureaux, le quartier présente même le plus haut taux de vacance de la ville avec près de 230 000 m<sup>2</sup> de bureaux inoccupés en 2015 pour environ 3 millions de mètres carrés<sup>34</sup>. De plus, il présente également un haut taux de vacance dite « persistance ». Ce taux de vacance correspond selon l'Observatoire des bureaux à une commercialisation continue de 3 ans d'un immeuble sans occupation au cours de ces trois années. La vacance persistante « donne avec précision la mesure d'une vacance qu'il faut bien considérer comme structurelle. Cette dernière est inquiétante. »<sup>35</sup>. Un grand nombre des immeubles du quartier construits pour la plupart entre 1960 et 1980 demandent par conséquent à être rénovés, sont vacants ou sur le point d'être démolis.

Une fonction mixte dans de tels immeubles permettrait d'amener plus de vie mais également de répondre à l'important besoin en logements. C'est en effet l'ambition du schéma directeur de la région bruxelloise, publié en 2007<sup>36</sup>. Les logements amèneraient des habitants capables de raviver le quartier, mais également des équipements tels que des crèches, des commerces, ... De plus, le quartier situé à l'est de la petite ceinture est bien desservi et est pourvu d'espaces verts qui pourraient être repensés comme des espaces extérieurs pour les futurs riverains.

Densité de bureaux (m<sup>2</sup>/km<sup>2</sup>), 2015    Densité de population (nombre d'habitants /km<sup>2</sup>), 2014

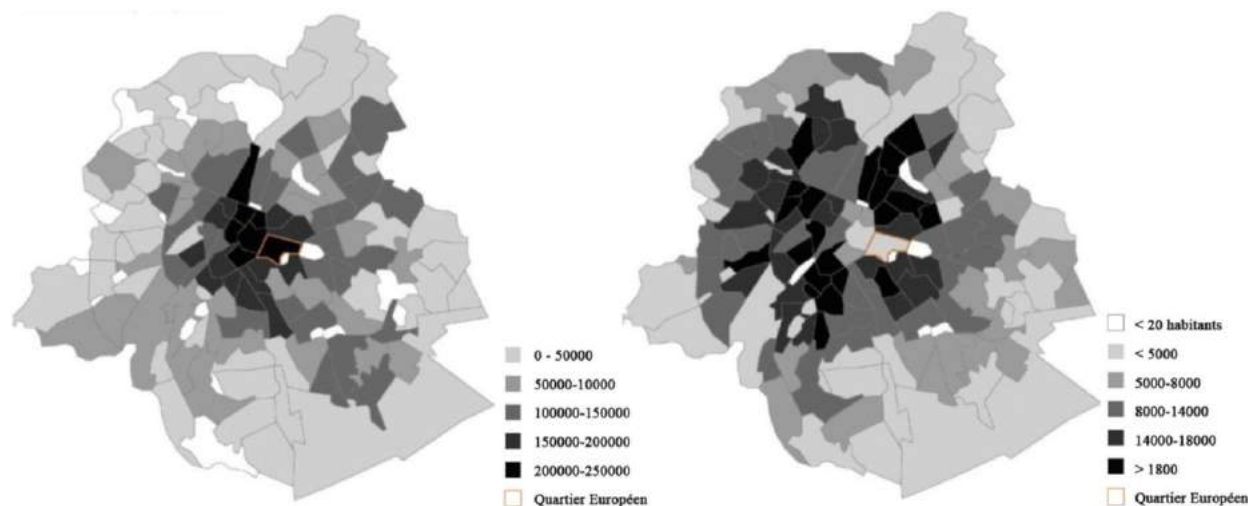


Figure 62 : Densité de bureaux et densité de population.

Sources : Merschaert, 2017. Cartes réalisées sur base des « Observatoires de bureaux ».

<sup>32</sup>Source : CARTON, Et demain, le bureau durable ? numéro spécial de l'Observatoire des bureaux, mars 2013, p. 228. Je reprends l'idée à Julie Meerschaert.

<sup>33</sup>Source : Je reprends cette idée à Julie Meerschaert dans son TFE.

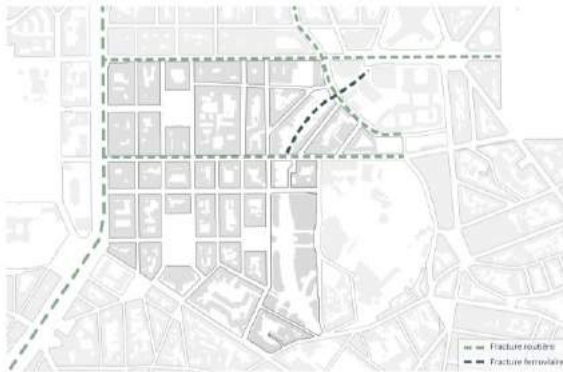
<sup>34</sup>Source : De Beule, Doornaert, Hanssens, L'observatoire des bureaux, n° 36, 2016, p 23.

<sup>35</sup>Source : De Beule, Doornaert, Hanssens, L'observatoire des bureaux, n° 31, 2012, p 12.

<sup>36</sup>Source : [http://perspective.brussels/sites/default/files/documents/QE\\_Schema\\_directeur.pdf?fbclid=IwAR3TcNKkqBZx71gP6etZEKO-7y7niu4YOQM409aPijPmD3cGKjBtHk3K590](http://perspective.brussels/sites/default/files/documents/QE_Schema_directeur.pdf?fbclid=IwAR3TcNKkqBZx71gP6etZEKO-7y7niu4YOQM409aPijPmD3cGKjBtHk3K590).

### 3.2.2 Présentation du Master plan

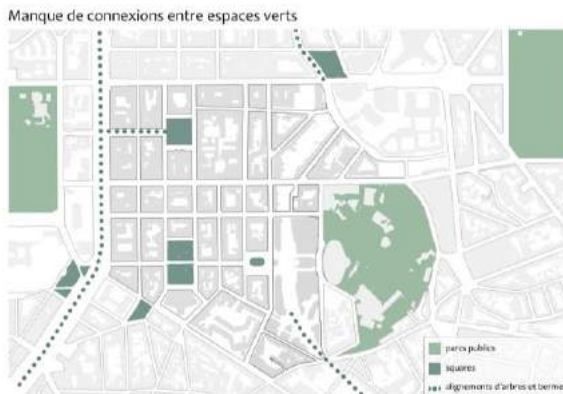
Le master plan présenté ci-dessous a été réalisé en collaboration avec 6 autres étudiants travaillant eux aussi sur le quartier européen. Notre travail s'inscrit dans la continuation de celui de Julie Meerschaert, étudiante ayant réalisé en 2017 un TFE sur la conversion des immeubles de bureaux en logement dans le quartier.



#### Analyse du Quartier européen

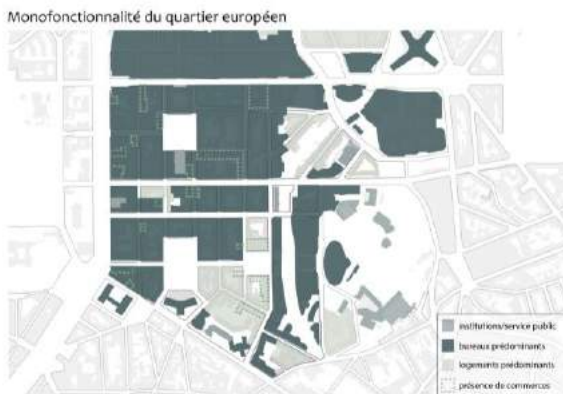
##### *Zone entourée de fractures urbaines*

Le quartier présente plusieurs fractures urbaines : la rue de la Loi dans laquelle les nombreuses bandes de circulation sont encombrées de voitures, la petite ceinture et la rue Belliard. Ces axes routiers constituent des limites psychologiques entre les différentes zones du quartier.



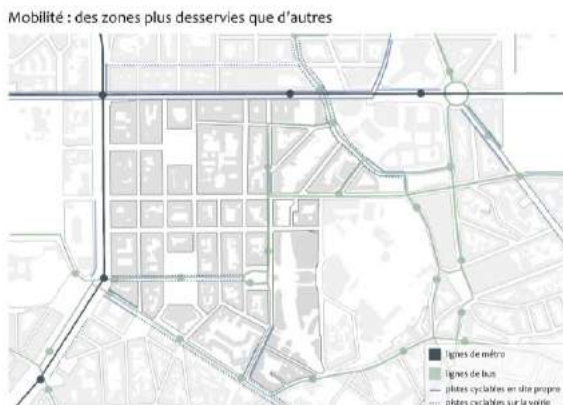
##### *Manque de connexions entre espaces verts*

L'un des atouts du quartier est la présence d'espaces verts tels que les square Frère Orban, de Meeûs, et Luxembourg, et la proximité du parc Léopold et de Bruxelles. Malheureusement, ceux-ci ne sont pas connectés entre eux, ce qui constitue notamment un point négatif pour la biodiversité (oiseaux, insectes, etc.).



##### *Monofonctionnalité du quartier européen*

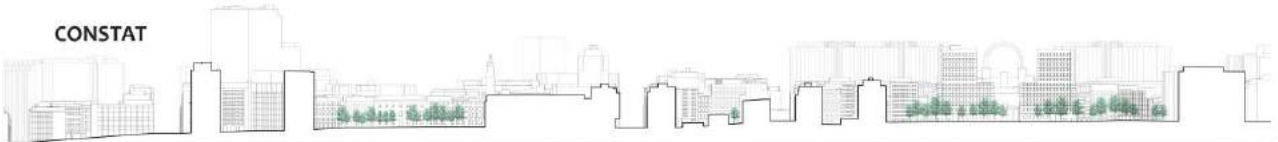
Comme expliqué plus haut, le quartier présente pratiquement exclusivement des bâtiments de bureaux, et peu de commerces, de logements et de services. Cette absence de mixité cause de nombreux problèmes tels que de l'insécurité ou encore de la pollution.



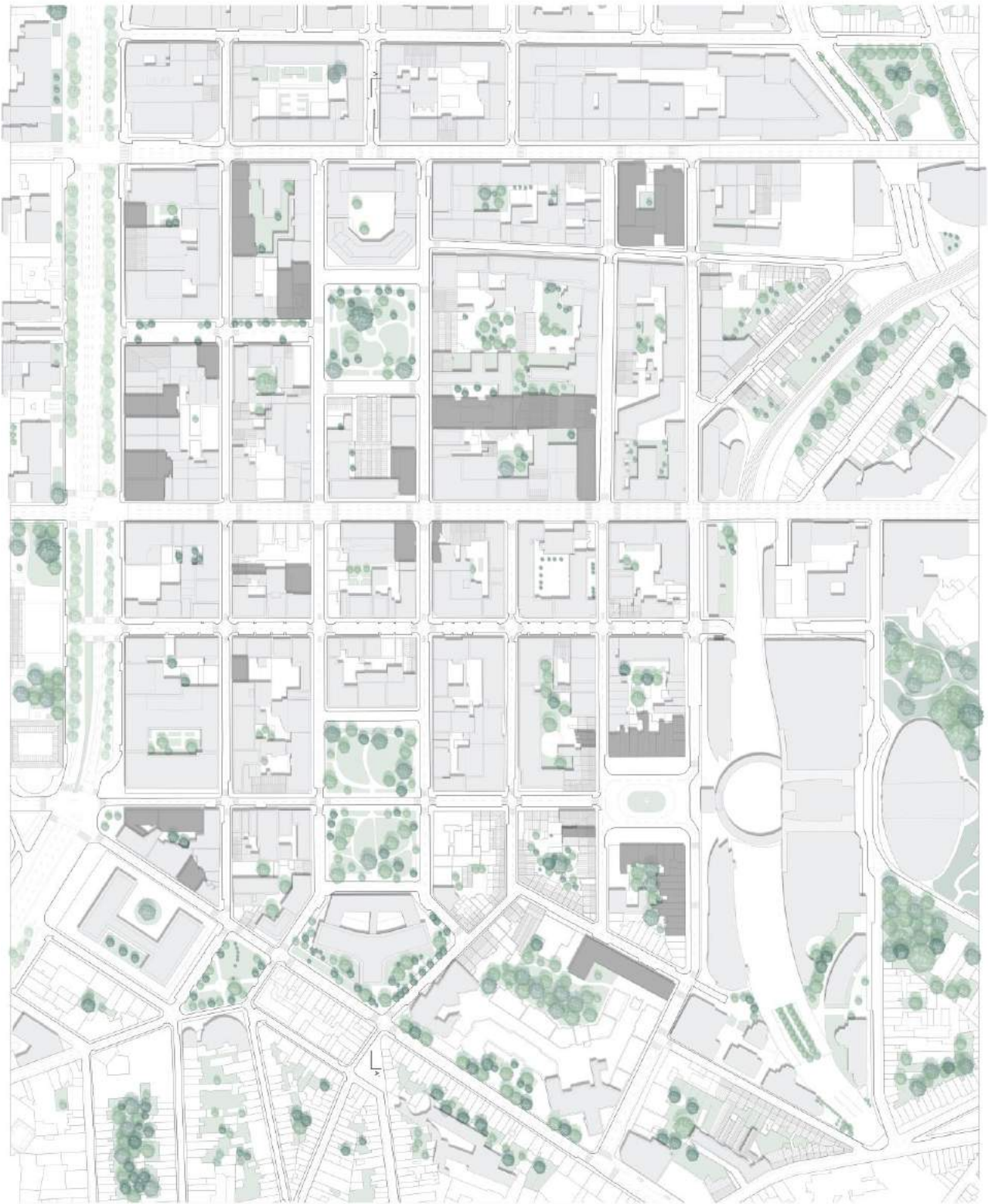
##### *Mobilité : des zones plus desservies que d'autres*

Le quartier, relativement bien desservi, est entouré d'arrêts de métro. Une ligne de bus le parcourt. Cependant, les pistes cyclables s'interrompent régulièrement, ne permettant pas aux cyclistes de rouler en toute sécurité.

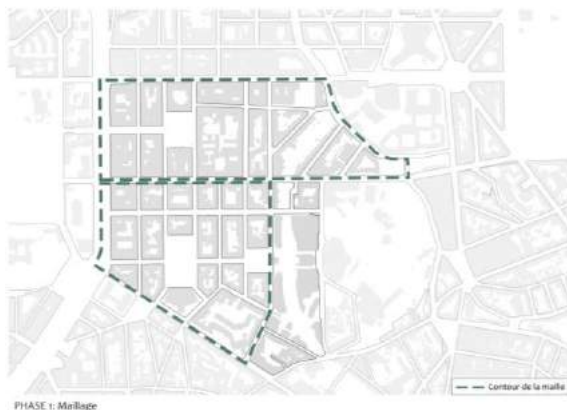
# CONSTAT



Coupe A-A'



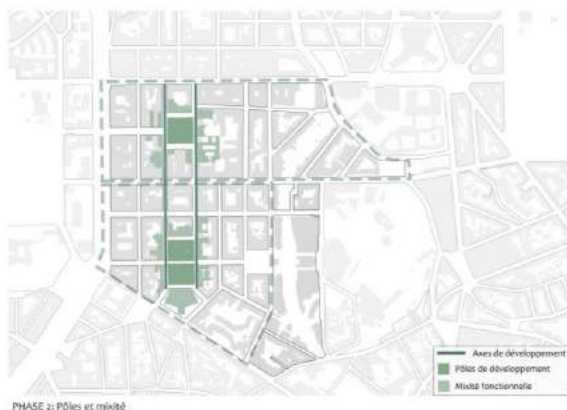
MASTERPLAN QUARTIER EUROPEEN  
IDARC 199 | Atelier de recherche - UTOPIE  
Alexis Boudreau - Juliette DeMaio - Armandine Desrosiers - Camille Dreyer - Harry Thibault - Olyvia Guichard - Philippe Winkler



## Phasage :

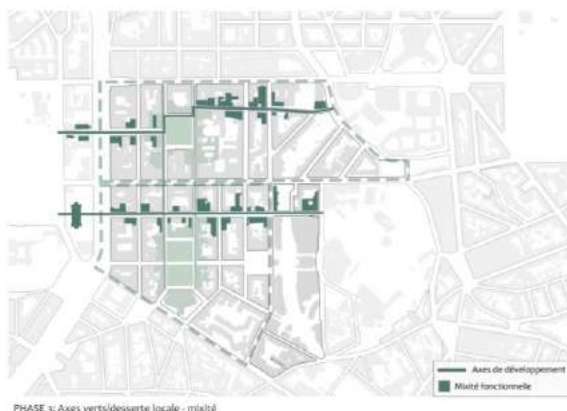
### Phase 1

La première chose que nous mettons en place est les deux mailles de circulation passant par rue de la Loi, rue Belliard et rue du Trône. Certaines de ces rues comme la rue de la Loi sont donc retravaillées en diminuant le nombre de bandes, mais restent des axes routiers importants.



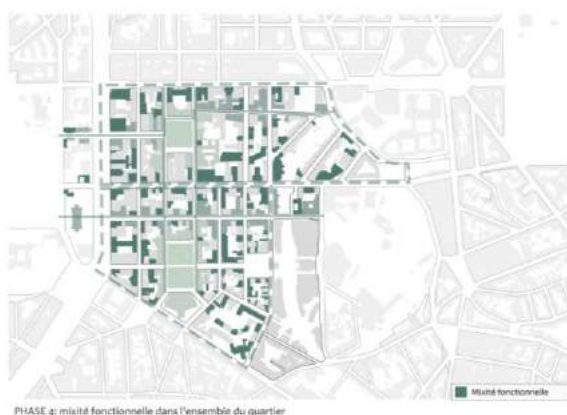
### Phase 2

Ensuite nous créons les connections entre les différents squares qui sont des axes forts de développement pour la mixité fonctionnelle. En effet, la création de commerces au rez-de-chaussée de bâtiments à proximité de ces espaces verts est idéale pour implanter plus de logements. Les axes sont végétalisés et rendus piétons.



### Phase 3

La troisième phase consiste également à développer des axes verts de développement qui rejoignent le square Frère Orban ainsi que la rue Montoyer et à développer la mixité fonctionnelle le long de ceux-ci. Mon projet s'intègre dans cette phase.



### Phase 4

La dernière phase consiste à continuer de développer la mixité fonctionnelle dans l'ensemble du quartier.



Coupe rue de la Loi

## Aménagements :

La rue de la Loi reste un axe routier fort, bordé d'immeubles de bureaux. Cependant, le nombre de bandes de circulation est fortement diminué afin de laisser une plus grande place aux piétons, et une piste cyclable est aménagée. De la végétation prend place le long de cette rue afin de la rendre plus agréable et de contribuer à sa biodiversité.



Coupe du Square

La rue du Square, comme de nombreuses autres rues du quartier, laisse passer les voitures à une vitesse limitée de 30 km/h. Elle est ainsi retravaillée afin de laisser plus d'espace à la mobilité douce mais également à la biodiversité. L'écoulement de l'eau de pluie se fait sans tuyaux par des noues qui amènent l'eau dans des bassins en contrebas de la rue.

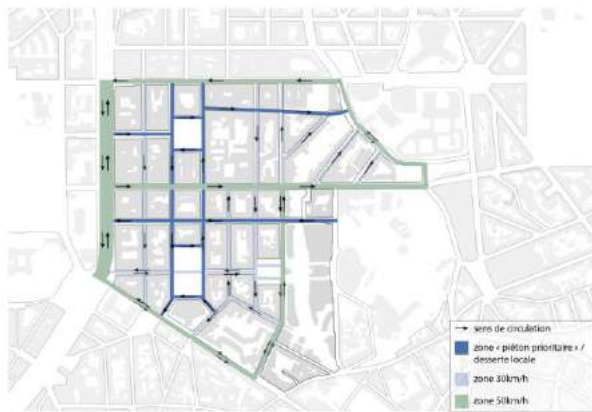


Coupe rue Montoyer

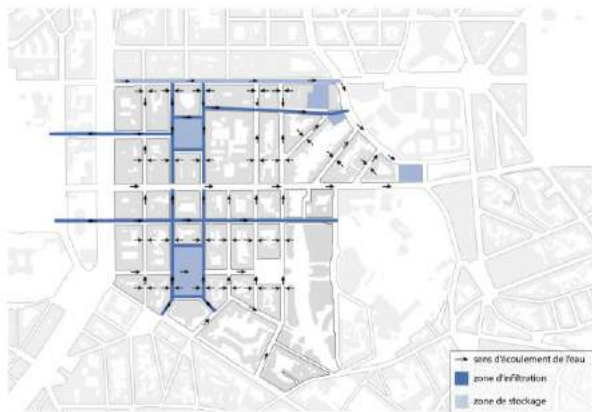


La rue Montoyer est un axe fort de développement pour la mixité fonctionnelle. Des commerces prennent place au rez-de-chaussée d'immeubles de bureaux et de logements. La rue est retravaillée et ne contient qu'une desserte utilisable par les voitures uniquement en cas d'urgence. La rue devient donc un espace partagé pour le piéton et les cyclistes, agrémenté de végétation. Des noues prennent également place pour la gestion de l'eau.

## Propositions pour le futur du quartier européen



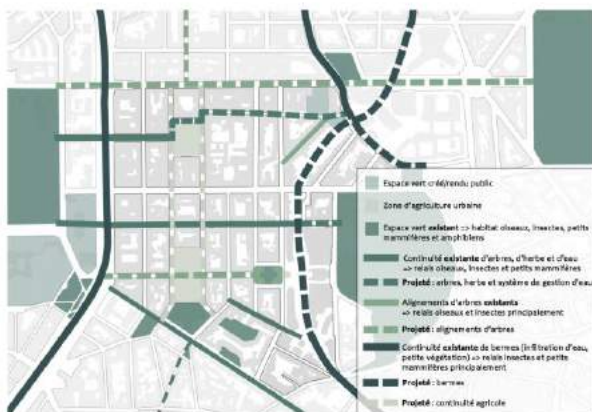
Circulation modifiée et organisée à l'intérieur des mailles



Gestion de l'eau sans tuyau



Connexions à créer entre les espaces verts



Proposition de couvertures végétales pour assurer ces connexions

### *Système de maille*

Comme dit dans le phasage, deux mailles de circulation importantes passent par des axes forts de circulation (rue de la Loi, Belliard et du Trône). Toutes les rues situées à l'intérieur de ces mailles sont soit retravaillées afin de laisser un accès aux voitures à 30 km/h, soit rendues piétonnes. Ce système a pour but de diminuer l'usage de la voiture dans la ville, chaque quartier fournissant aux piétons ce dont ils ont besoin.

### *Gestion de l'eau sans tuyau*

L'eau s'évacue de manière plus naturelle dans des noues qui suivent la pente des rues. Elle s'écoule de cette manière jusqu'à des zones de stockage de l'eau. Outre les avantages que ces noues apportent à la biodiversité avec des espèces aquatiques, ces systèmes permettent de diminuer les inondations et de valoriser les espaces publics. Elles permettent également de délimiter l'espace public.

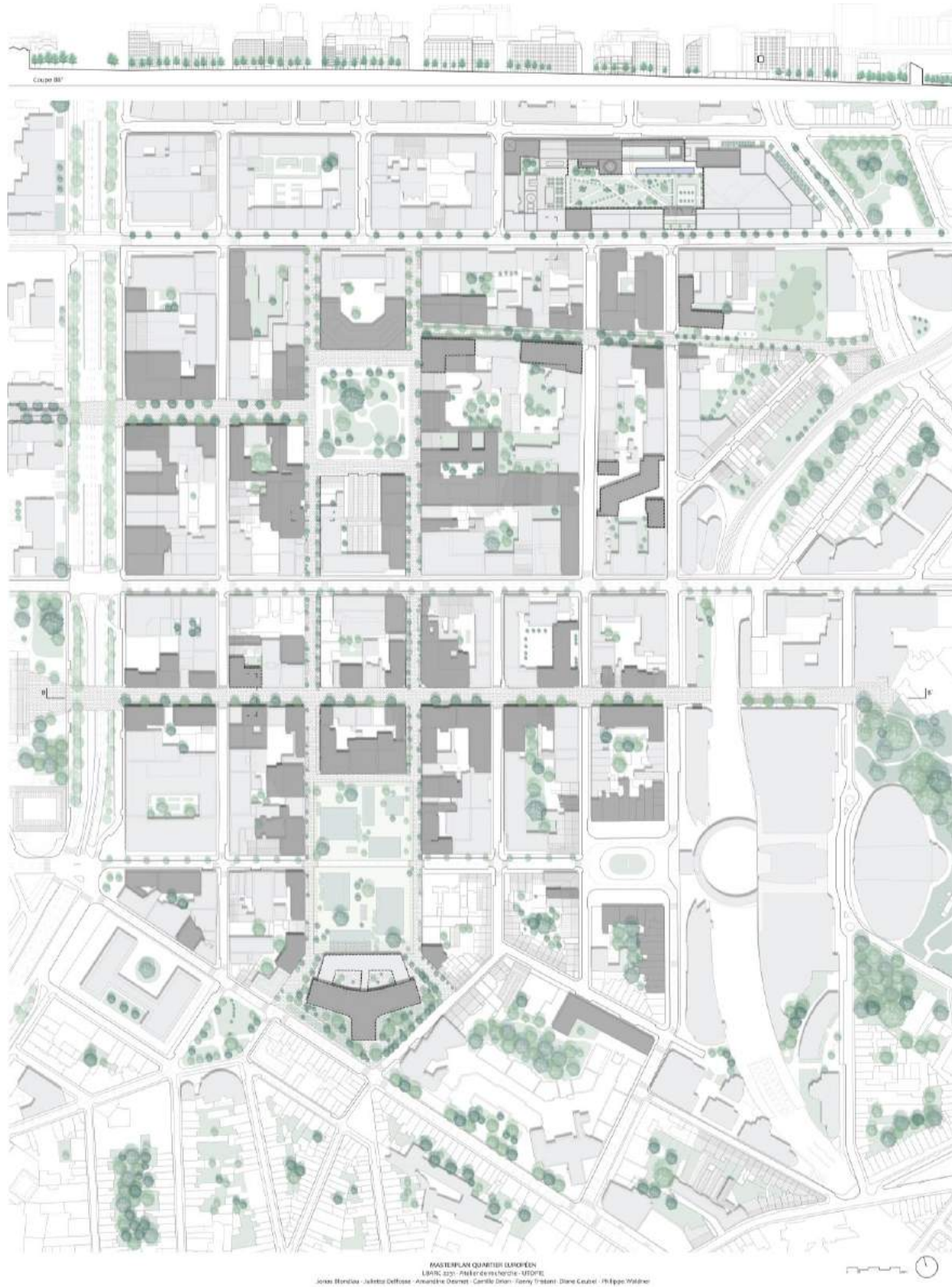
### *Connexions entre les espaces verts*

Comme dit dans le phasage, des connexions sont créées entre les différents espaces verts aux moyens de revêtements de sols différents mais également de végétation. Ces continuités permettent aux espèces de se déplacer d'espaces verts en espaces verts, et aux habitants de profiter d'un quartier plus vert.

### *Propositions de couvertures végétales pour assurer les connexions*

Ces connexions sont réalisées à l'aide de diverses espèces d'arbres, de bacs potagers, de bermes végétalisées où les eaux peuvent s'infiltrer et où les insectes et petits mammifères peuvent évoluer. Des zones d'agriculture urbaines et des espaces verts sont créés ou réaménagés afin d'abriter des oiseaux et autres espèces. Ces zones permettent également de créer de la cohésion entre habitants.

La proposition est de fournir à ce quartier déjà bien desservi une mixité de services, de commerces et d'espaces verts afin de répondre au mieux aux logements que nous créons dans les anciens bâtiments de bureaux. Une grande importance est apportée à la biodiversité qui pourra se développer dans les espaces verts, les rues plus végétalisées et les toitures plantées. Les rues sont elles aussi fortement retravaillées afin de laisser plus de place aux usagers faibles.

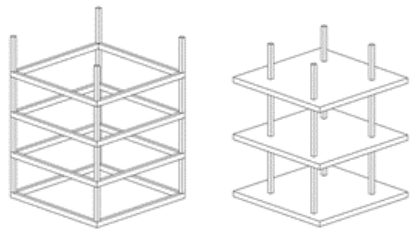
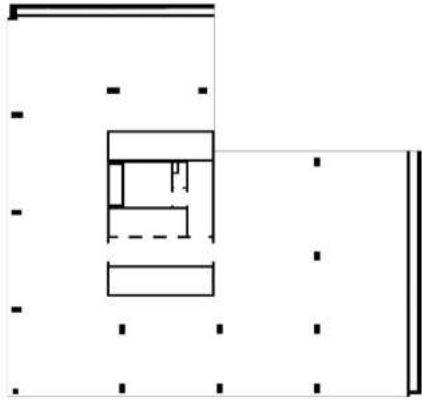



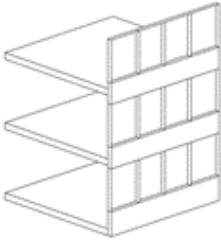
Sources : Cartes et schémas réalisés par l'auteur en collaboration avec 6 autres étudiants de Master 2.



### 3.3 Critères de sélection du bâtiment

Le bâtiment a été choisi sur base de critères bien précis.

CRITERES DE SELECTION DU BATIMENT		CAS D'ETUDE
FONCTION	<p>Le bâtiment doit être un bâtiment de bureaux. Ce type de bâtiment possède une hauteur sous plafond capable d'accueillir aussi bien du bureau que du logement (2,7 mètres). De plus, Bruxelles présente un taux important de bureaux vacants, surtout dans le quartier européen qui est monofonctionnel.</p>	<p>Le bâtiment est un bâtiment de bureaux occupé par plusieurs sociétés au cœur du quartier européen. Le rez-de-chaussée présente une papeterie, une salle de sport et une sandwicherie.</p>
STRUCTURE	<p>Le bâtiment doit présenter une structure poteau-poutre ou dalle-champignon.</p>  <p>La structure doit être saine et idéalement être capable de supporter des charges de 500 kg/m<sup>2</sup> afin de permettre aussi bien du logement que du bureau.</p>	<p>Le bâtiment 10 rue Montoyer possède une structure saine dalle-champignon. J'estime que la structure permet d'accueillir également du logement.</p> 
DATE DE CONSTRUCTION	<p>Bien que le système de façade démontable puisse s'appliquer à tous les bâtiments, il est particulièrement pertinent sur des bâtiments d'après-guerre et plus particulièrement des années 60-70. En effet, les bâtiments construits à ces dates possèdent une hauteur sous plafond assez basse, les rendant plus difficile à reconverter que des bâtiments plus récents. Ils sont par conséquent souvent démolit au profit d'immeubles neufs, ou abandonnés. De plus, ils ont été construits en abondance et sont aujourd'hui totalement obsolètes d'un point de vue technique.</p>	<p>Le bâtiment date de 1972. Sa façade n'a pas été rénovée et n'est pas isolée. Il appartient aujourd'hui à Cofinimmo qui a organisé un concours comprenant une analyse afin de savoir s'il fallait le garder ou le reconstruire. Bien qu'il soit possible de le garder tout comme de construire neuf, Cofinimmo envisage sa démolition afin de reconstruire avec une hauteur sous plafond plus importante.</p>

<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">HAUTEUR LIBRE</p>	<p>Le système de façade démontable intégrant la technique est particulièrement pertinent sur des bâtiments bas de plafond ne pouvant installer les techniques en plafond. La hauteur préconisée est donc de 2,6 mètres afin de pouvoir accueillir aussi bien des bureaux que des logements.</p> 	<p>Les étages types du bâtiment possèdent une hauteur entre dalles de 2,73 mètres. Seul le rez-de-chaussée et les deux avant-derniers étages possèdent une hauteur plus importante</p>
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">FACADE</p>	<p>Afin de permettre le remplacement fréquent de la façade, celle-ci doit être une façade rideau non portante.</p> 	<p>Montoyer présente une façade non portante. Celle-ci présente des châssis relativement neufs et du béton.</p>
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">VACANCE / ABANDON</p>	<p>Le bâtiment de bureau devrait idéalement être vacant ou sur le point d'être détruit en raison de sa faible hauteur sous plafond et de sa vétusté. Si ce n'est pas le cas, la rénovation tout en gardant le bâtiment occupé pourrait être envisagée.</p>	<p>Le propriétaire du bâtiment de bureau rue Montoyer envisage sa destruction. Sa rénovation tout en gardant le bâtiment occupé pourrait être envisagée.</p>

### 3.4 Immeubles auxquels appliquer la méthode proposée

Bien que les façades démontables puissent être appliquées à tout type de bâtiment, je choisis de m'intéresser à des bâtiments complexes habituellement détruits. De ce fait, mes modules démontables intégrant la technique peuvent s'appliquer à beaucoup d'autres bâtiments du quartier afin d'éviter leur destruction.

Les immeubles de bureaux des années 60-70, produits en masse, semblent répondre aux critères énoncés ci-dessus. Construits de manière intensive à Bruxelles, ils se situent en général dans des quartiers monofonctionnels tels que le quartier européen. Leur obsolescence et l'impossibilité de placer les techniques contemporaines en faux plafond rend leur conversion en logement difficile, engendrant un taux de vacance persistant important dans ces quartiers. Ces bâtiments dégradés à l'allure décrépie offrent une image négative aux passants.

Les immeubles des années 60 se caractérisent par une hauteur sous dalle d'environ 2,6 m qui permettait à l'époque de remplacer des immeubles présentant minimum 3 mètres sous plafond par des immeubles bas de plafond comportant un nombre d'étages plus élevé. En effet, l'objectif était que l'immeuble soit toujours considéré comme un bâtiment moyen et il devait alors conserver une hauteur totale inférieure à 25 mètres. Ces bâtiments présentent en général des façades murs-rideaux et une profondeur assez importante pouvant atteindre jusque 20 mètres. Ils disposent souvent d'un rez-de-chaussée commercial. Les bâtiments des années 70, quant à eux, présentent également une hauteur sous dalle très basse mais possèdent généralement un noyau de circulation central, leur permettant de se transformer facilement en logement.

La carte ci-dessous répertorie tous les bâtiments des années 60-70 pouvant potentiellement être rénovés à l'aide d'une façade démontable intégrant la technique.

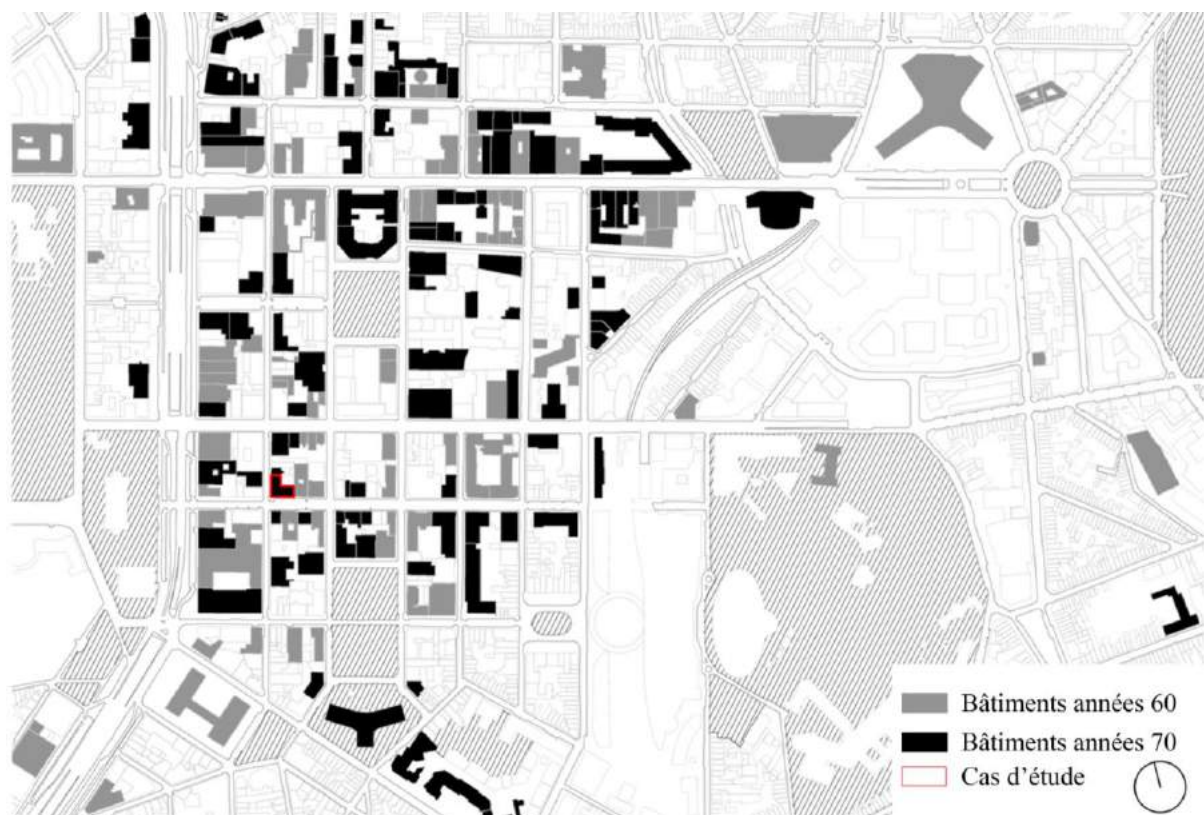


Figure 69 : Bâtiments des années 60-70 du quartier européen.

Source : Carte réalisée sur base d'une carte de Julie Merschaert dans son TFE sur « La conversion des immeubles de bureaux en logements au sein de la région bruxelloise » et de l'Observatoire des bureaux.

### 3.5 Identité et revalorisation du quartier

En rénovant les bâtiments des années 60-70 de manière démontable avec des modules préfabriqués, le quartier bénéficierait d'une identité forte mais également d'une vie de quartier. Les rues seront plus animées et les façades des bâtiments s'ornent de terrasses appropriées par les nouveaux habitants. Les immeubles vacants ou décrépis feront peau neuve, offrant une image valorisante pour le voisinage. Les revêtements de façade changeront selon le bâtiment et présenteront des matériaux atypiques (bois brûlé, briques démontables, etc.) pour le quartier européen où le béton, le verre et la pierre dominent actuellement. A ce sujet, l'Observatoire des bureaux écrit : « Construits en remplacement des hôtels et maisons de maître, les immeubles de bureaux, en devenant de plus en plus grands et banals, confèrent au quartier un aspect assez uniforme dès les années 1970 »<sup>37</sup>. Si les façades étaient divisées par des modules de dimensions assez semblables, elles présenteraient des variations : un module est vitré, l'autre plein et le dernier plein et vitré par exemple. Cette manière de faire permet également de reconnaître facilement l'architecture démontable et de lui donner un style propre.

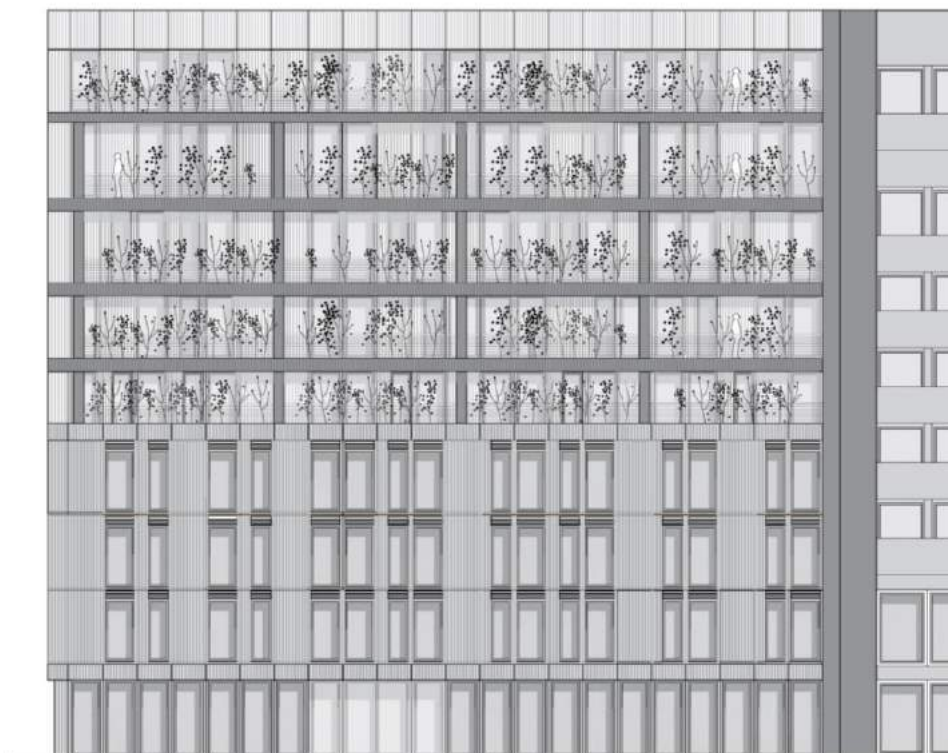


Figure 70 : élévation Sud du cas d'étude rue Montoyer.  
Source : Elévation réalisée par l'auteur.

<sup>37</sup>Soures : Citydev.Brussels, L'observatoire des bureaux, n° 31, 2012, p. 16.

## 3.6 Présentation du projet

### 3.6.1 Projet

#### Rénovation d'un immeuble de bureaux bas de plafond pouvant accueillir une fonction mixte. Création d'une façade démontable zéro déchet intégrant la technique

Mon bâtiment se situe 10 rue Montoyer et à l'angle de la rue du Commerce au numéro 44. Il pourrait être prochainement détruit en raison de sa faible hauteur entre dalles qui est de 2,7m. Mon objectif est d'éviter sa destruction en remplaçant sa façade par une façade démontable zéro déchet intégrant la technique. Ce bâtiment de plus de 5 000 mètres carrés hors sol intégrera une fonction mixte à savoir une boulangerie, une salle de sport et une papeterie, trois étages de bureaux puis quatre étages composé d'une vingtaine de logements. Les sous-sols abritent un parking vélo commun, un étage d'agriculture urbaine et un parking public pour les voitures. Des ruches prennent place en toiture et un jardin est créé au premier étage.

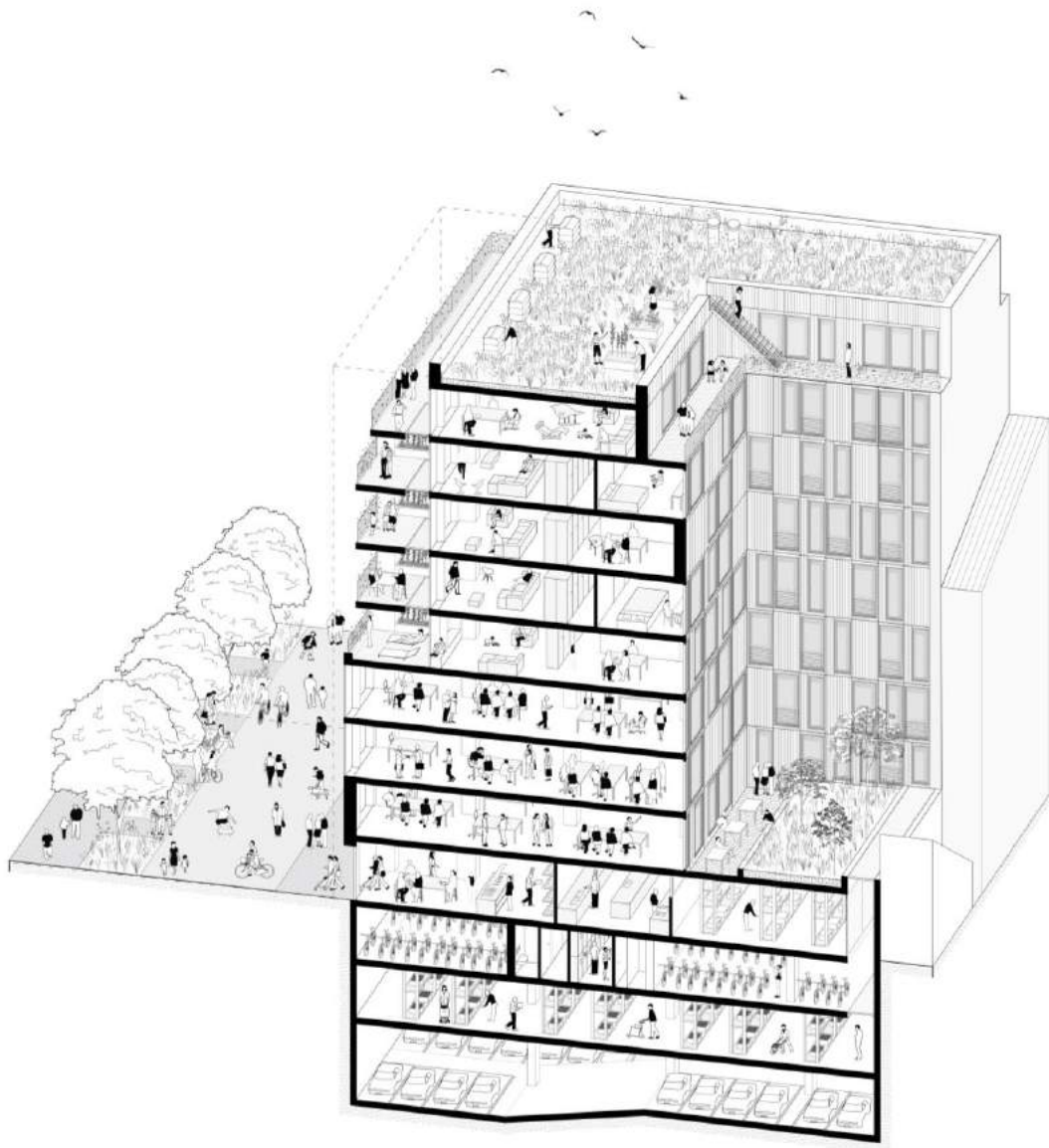


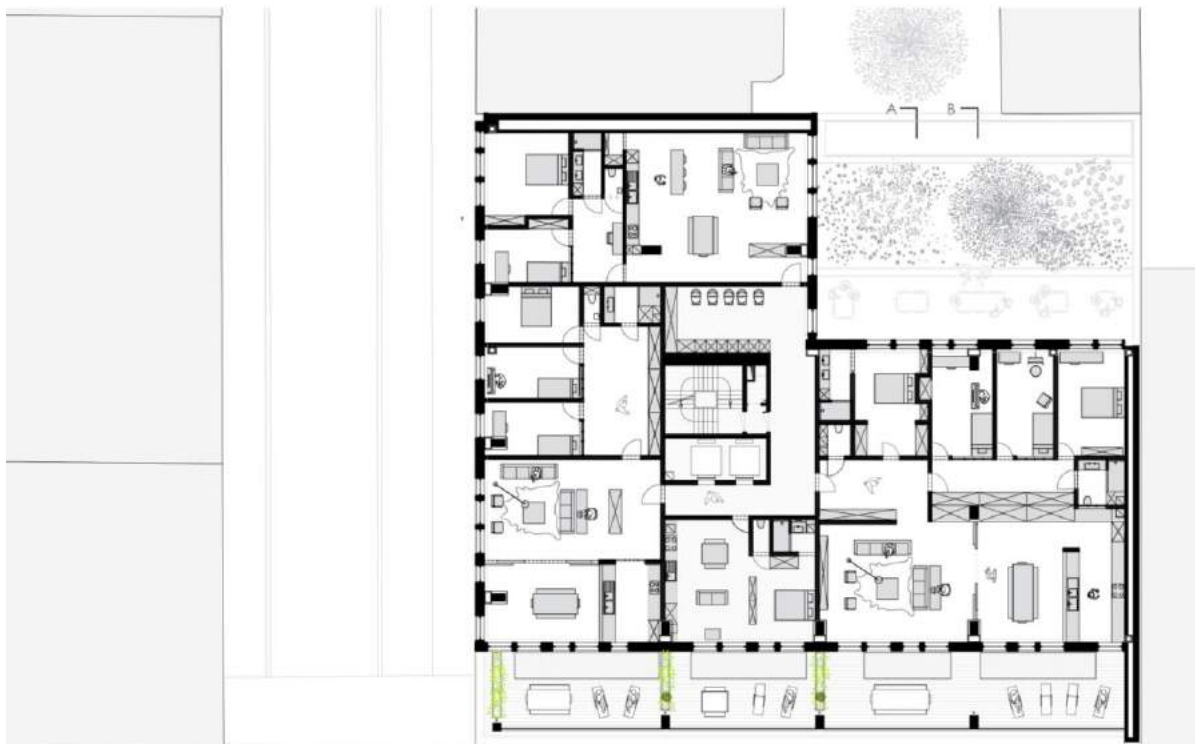
Figure 71: Axonométrie du bâtiment.  
Source : Document réalisé par l'auteur.

Le bâtiment est un bâtiment moyen. Les deux ascenseurs existants peuvent être séparés afin d'en réserver un pour les travailleurs et un pour les habitants. Le hall commun permet des échanges entre ceux-ci, fruit de la nouvelle mixité du quartier. Les trois étages de bureaux subissent peu de modification afin de pouvoir garder le bâtiment occupé pendant les travaux. Les logements sont quant à eux assez mixtes, allant de logements plus spacieux à des logements plus réduits. Le bâtiment présente une variété d'appartements allant du studio au 4 chambres. Les appartements 4 chambres ont la possibilité de servir à deux couples avec enfants grâce à la séparation des halls de nuit. Une buanderie commune, un local poussettes et une salle polyvalente avec terrasse commune prennent place un étage sur deux. Ces espaces communs ont pour but d'offrir des services mutualisés aux habitants. Le logement du concierge et un kot étudiant ou chambre partagée par les habitants prennent place aux étages ou il n'y a pas de salle polyvalente.

Le principe constructif est de conserver la structure qui sera pérenne et de créer des modules préfabriqués à ossature bois qui pourront être démontés dans le futur. Chaque étage de logement comporte 58 modules, et chaque étage de bureau 61, pour un total de 458 modules. Ces modules présentent des variations afin de mieux répondre aux besoins des différentes affectations du bâtiment : un module plein, un vitré, et un partiellement vitré. Le rez-de-chaussée commercial est quant à lui entièrement vitré, permettant de placer le vitrage le plus proche possible de l'intérieur afin de ne pas trop empiéter sur l'espace public. La jonction entre ces modules se fait par serrage mécanique d'une pièce EPDM qui assure l'étanchéité à l'air. Un minimum de membrane pétrochimique a été utilisé pour les bonnes performances du bâtiment. Depuis l'intérieur jusque l'extérieur, un panneau de finition en bois prend place, ensuite un OSB assure l'étanchéité à l'air, le caisson est rempli de cellulose, le Dwd joue le rôle d'étanchéité à l'eau. Le revêtement en bois brûlé est choisi pour ses excellentes propriétés, sa durée de vie de 80 ans mais également son côté atypique. Celui-ci peut être démonté et remplacé aisément. Des stores extérieurs prennent place aux étages de bureaux afin d'éviter l'éblouissement des travailleurs et la surchauffe. Une plus ample justification des matériaux prend place plus bas, dans le cadre de la présentation des modules. En raison de la grande profondeur du bâtiment, des terrasses ont été créées au sud pour les logements. Afin de respecter le critère du zéro déchet, la dalle a été creusée afin de glisser les modules par le haut et une dalle de verre trouble a été créée afin de laisser passer la lumière. Le fait de profiter des dalles existantes permet de ne pas créer une nouvelle structure métallique, ce qui permet de dépenser moins d'énergie. Cependant, des modules différents ont dû être ajoutés devant les colonnes, aux endroits où la dalle est conservée. La création de ces terrasses permet non seulement d'augmenter la qualité de vie des habitants, mais également de diminuer la surchauffe et l'éblouissement de ces logements exposés au Sud. Les bureaux exposés au Sud sont équipés de stores extérieurs.



Plan + 1, 2, 3



Plan + 4, 6

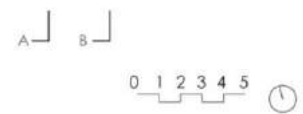


Figure 72: Plan type des bureaux et des logements.  
 Source : Documents réalisés par l'auteur. Pour rappel, ils ne peuvent être divulgués.

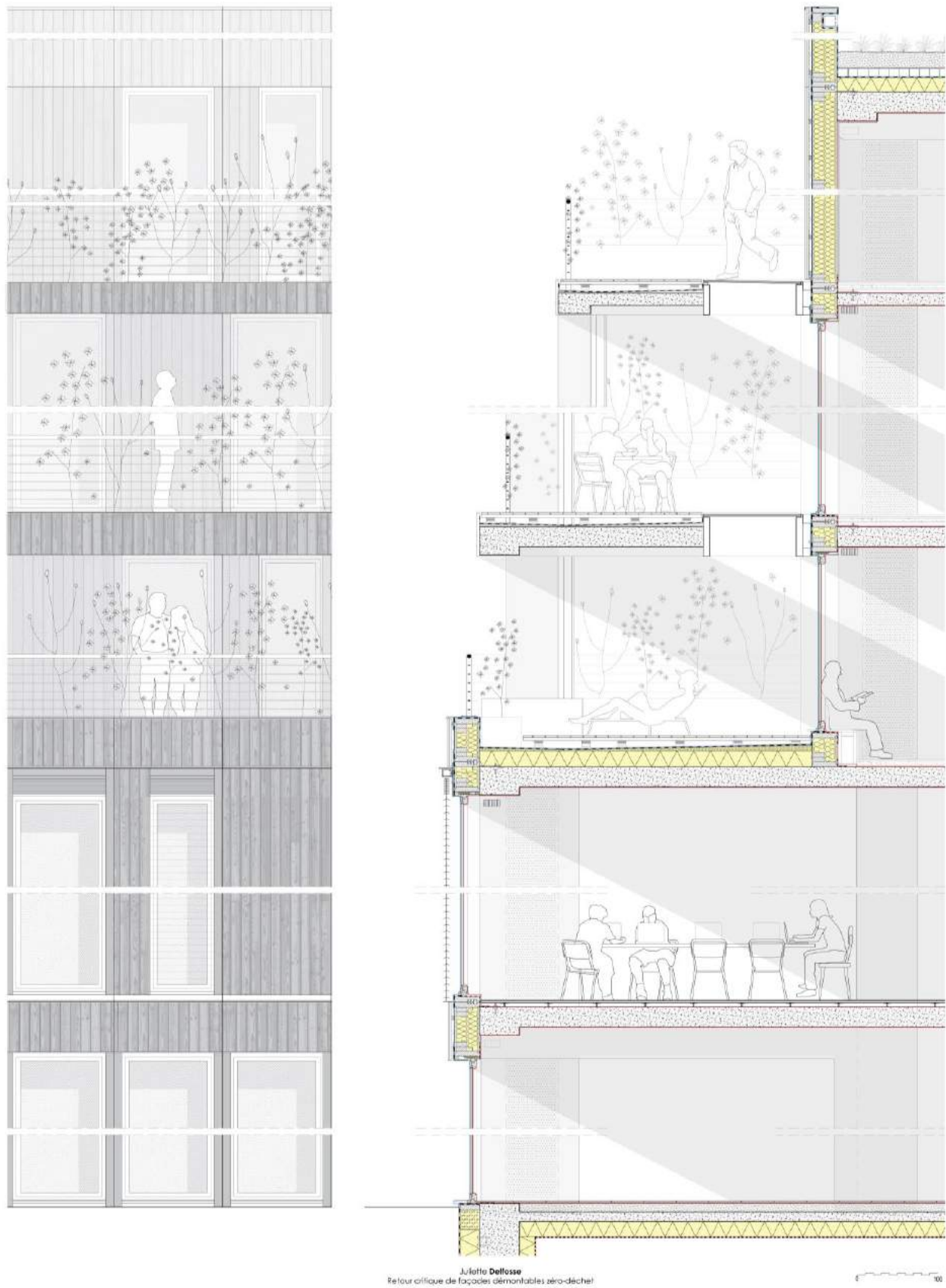


Figure 73: Coupe AA et élévation Sud au 1/20.  
Source : Documents réalisés par l'auteur.



### 3.6.2 Flexibilité du bâtiment

Couplé à la démontabilité, l'immeuble est capable d'offrir une multitude de perspectives possibles. La structure en béton du bâtiment, en bon état, est faite pour durer. La création de la façade démontable permet de changer celle-ci sans détruire la structure. Les apports en lumière pourront donc être modifiés selon les fonctions, ainsi que le degré de fermeture des espaces intérieurs par rapport aux espaces publics. Des cloisons peuvent être enlevées ou ajoutées, du moment que les zones de ventilation sont respectées. Les gaines de ventilation sont également facilement accessibles afin de rendre leur remplacement aisé. La position du noyau central laisse la possibilité de modifier aisément l'affectation aisément. Etant donné qu'il m'est impossible de prédire l'avenir de mon immeuble, je peux tout au plus établir différentes hypothèses d'évolution afin de voir ce à quoi ma façade sera confrontée. Cependant, seul le scénario des fonctions mixtes de logement et bureau est exploré.

Le bâtiment et sa façade doivent pouvoir répondre à plusieurs hypothèses :

1) La société souhaite bénéficier d'une nouvelle image afin de faire peau neuve ou parce que le bureau change de propriétaire et donc de marque, ou le revêtement est trop usé.

*Le revêtement est totalement démontable indépendamment des autres couches.*

2) Les normes ou les techniques ont évolués et l'immeuble ne répond plus aux nouvelles exigences.

*Les techniques sont facilement accessibles afin d'être modifiées. Les modules de façades sont démontables couche par couche ou module par module afin de pouvoir être changés.*

3) Les manières de travailler évoluent et l'aménagement intérieur et la façade extérieure doivent être modifiés.

*Des modules peuvent être retirés et modifiés afin de répondre au mieux aux nouveaux besoin du bâtiment (module vitré devenant plein et vice-versa).*

4) Le bâtiment change d'affectation : les logements s'agrandissent ou rapetissent, augmentent ou pas en nombre/ le bâtiment change radicalement de programme.

*Les techniques des bureaux peuvent être reliées à celles des logements dans le cas d'un changement d'affectation ou vice-versa et sont facilement accessibles. Les modules démontables peuvent soutenir les changements d'affectation. La position du noyau central de circulation permet divers aménagements intérieurs.*

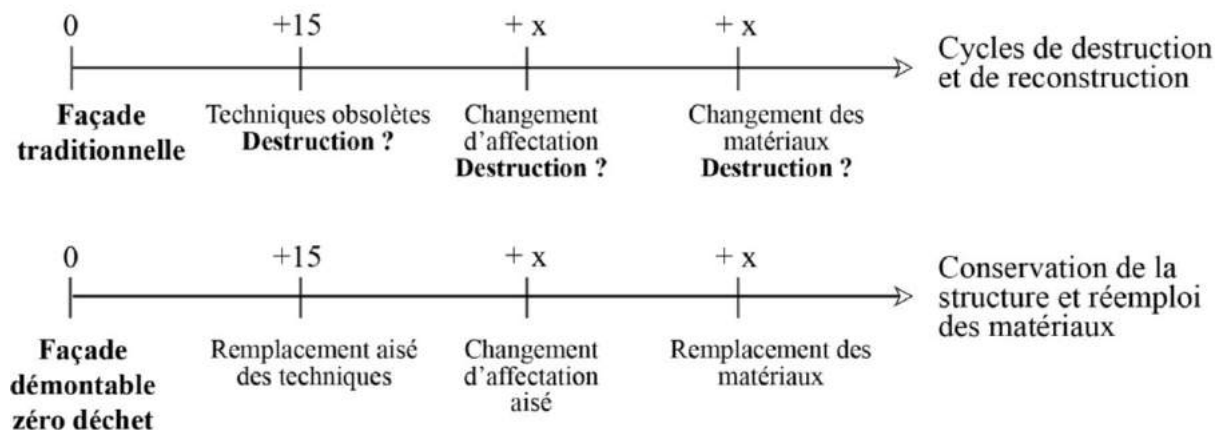


Figure 74: Scénarios auxquels la façade doit répondre.  
Source : Document réalisé par l'auteur.

### 3.6.3 Présentation des modules créés

Comme dit plus haut, le bâtiment présente 458 modules de 1,35 mètre de large, ce qui est idéal pour le transport en camion. Ceux-ci présentent un cadre assemblé de façon tenons-mortaises et s'accrochant les uns aux autres par serrages mécaniques de pièces EPDM. Cette pièce EPDM permet d'absorber les tolérances de la structure existante. Ils s'accrochent à la dalle avec une patte métallique. Les modules se déclinent en trois types qui se différencient par leur hauteur et trois types qui se différencient par leurs ouvertures. Des modules différents sont également présents devant les colonnes. Ceux-ci se fixent sur la surface plane de la dalle et non sur son épaisseur.

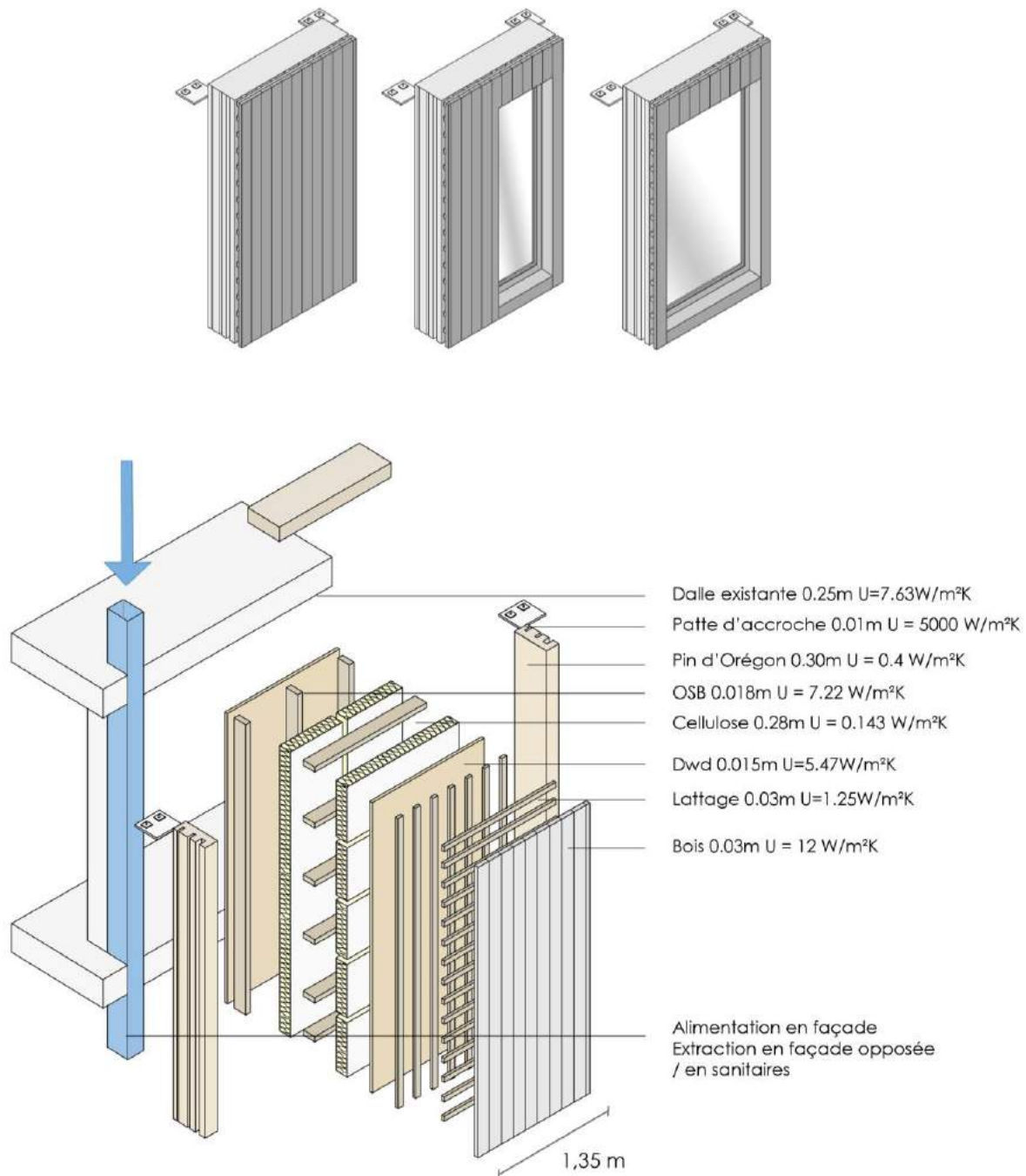


Figure 75 et 76: Modules créés.  
Source : Documents réalisés par l'auteur.

## Choix des matériaux

Une plus ample justification des matériaux est présentée au point 2.4. Depuis l'extérieur jusque l'intérieur, du bois brûlé est choisi pour le revêtement de façade. Ce matériau, possédant une longévité allant jusque 80 ans, résistant au feu et aux insectes est atypique. Il est choisi sous forme de planches de bois massif de réemploi, ou sous forme de planches neuves de cèdre, bois belge. Ces planches sont décapées dans mes étages de parking vides, brûlées dans l'espace de jardin et ensuite enduites d'huile de lin. Ce bardage est fixé à un lattage lui-même accroché à un contre-lattage. Comme expliqué plus haut, le pin d'Orégon, bois belge, est choisi pour sa stabilité afin de réaliser la structure du cadre. Le cadre est fermé côté extérieur par des panneaux de Dwd pour son étanchéité à l'eau. Dans ce cadre sont fixé un lattage et contre-lattage en bois destinés à éviter l'affaissement du cadre lors de la fixation du revêtement. Deux épaisseurs de 14 cm de cellulose, matériaux recyclé, recyclable et biosourcé sont placés entre les lattes de bois afin d'éviter l'affaissement de ces matelas isolants. Les matelas sont préférés à la cellulose en vrac afin d'éviter de percer les modules pour vérifier la densité de l'isolant mais également de pouvoir démonter facilement le module couche par couche. Côté intérieur, une plaque d'OSB assure l'étanchéité à l'air et un revêtement en bois perforé est choisi pour son côté écologique et esthétique. Les châssis sont des châssis bois-aluminium, le bois des châssis pouvant être réemployé en parquet comme vu dans le livre de Rotor. L'aluminium permet d'éviter d'abîmer les parties du bois les plus exposées à l'eau.

## Dimensions

Les modules mesurent 1,35 mètres, ce qui est idéal pour le transport en camion. Ils présentent comme dit plus haut 3 hauteurs différentes : 3,7 mètres au rez-de-chaussée, 2,89 aux étages intermédiaires et 3,08 mètres aux deux derniers étages. Les plaques d'OSB et de Dwd sont découpées selon des dimensions générant peu de pertes de matières : 5 plaques de 244 cm sur 59 cm servent à un module plein et deux modules partiellement vitrés sans perte de matière. Il en va de même pour les plaques de verres de 3,2 sur 6 mètres qui subissent très peu de perte :

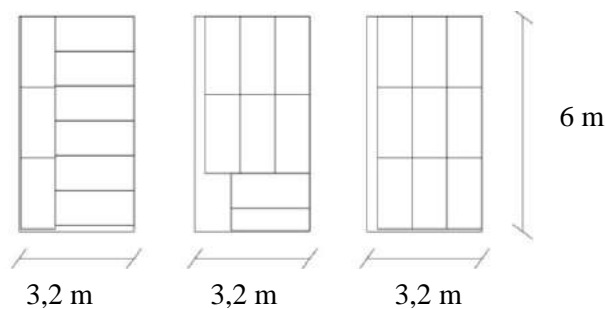


Figure 77 : Découpe des plaques de verres. Source : Document réalisé par l'auteur.

## Etanchéité du projet : utilisation minimum de membrane pétrochimique

L'ambition du projet est de créer une façade démontable et zéro déchet, ce qui implique l'utilisation minimum des membranes pétrochimiques, bien que celles-ci soient indispensables à un projet performant.

### Etanchéité à l'air :

Pour assurer l'étanchéité à l'air, le béton suffit parfois et peut remplacer l'utilisation d'une membrane. Dans mon projet, les 25cm de béton existant me permettent donc d'éviter une énorme quantité de membrane, bien que des raccords doivent être réalisés entre les dalles de béton et les modules en OSB. Pour ces raccords, la membrane Derbiskin est utilisée. Cette membrane autocollante végétale est totalement recyclable. L'OSB lui-même permet également d'éviter les membranes, ce matériau étant lui-même pare-vapeur.

Le raccord entre les modules est réalisé à l'aide de deux pièces de bois dans lesquelles viennent s'insérer des membranes. La pression de ces deux pièces avec la membrane assure l'étanchéité entre modules. Cela permet également une quantité limitée d'EPDM.

### Etanchéité à l'eau :

Le revêtement en bois brûlé n'assurant pas l'étanchéité à l'eau, c'est le Dwd qui assure en grande partie ce rôle, bien que les jonctions entre modules aient dû être renforcées à l'aide de membrane pétrochimiques. Pour la toiture et les terrasses, la membrane Derbipure de l'entreprise Derbigum a été utilisée. Cette membrane 100% végétale est réalisée sans bitume et présente une certification Cradle-to-Cradle donnée par l'institut environnemental EPEA.

### Choix des fournisseurs

Il est préférable que tous les fournisseurs soient belges afin de limiter les transports à une échelle locale. La carte ci-dessous reprend les fournisseurs des matériaux nécessaires au projet.



#### 0. Projet 10 Rue Montoyer, 1000 Bruxelles.

1. Châssis Riche Bois : essences européennes ou belges
2. BigMat: matelas isolants de cellulose
3. Alternative aux matelas: Isoproc: cellulose en vrac
4. Le Bois d'Antan: Bois brûlé belge
5. Agepan: panneaux de Dwd, produits en Allemagne
6. Carlier Bois: OSB
- 7 Ateliers de l'avenir: bois belge

Figure 78 : Localisation des fournisseurs. Source : Document réalisé par l'auteur.

### Alternative possible

Une variante au module créé plus haut aurait été par exemple de créer un caisson en bois rempli de cellulose en vrac. Cet isolant est plus rapide et moins cher à mettre en œuvre, mais pose question comme dit plus haut par rapport aux propagations d'incendie ou encore à la densité de l'isolant. Le caisson, bien moins pérenne, permettrait néanmoins un démontage plus rapide, idéal pour des changements fréquents d'aménagement. Un autre désavantage est la quantité importante de membrane nécessaire. Pour le revêtement, du métal de réemploi aurait pu être utilisée sous forme de panneau afin de demander moins de main-d'œuvre.

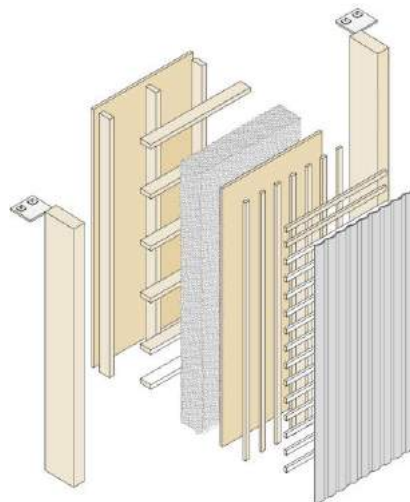


Figure 79 : Variante de module. Source : Document réalisé par l'auteur.

*Détails*

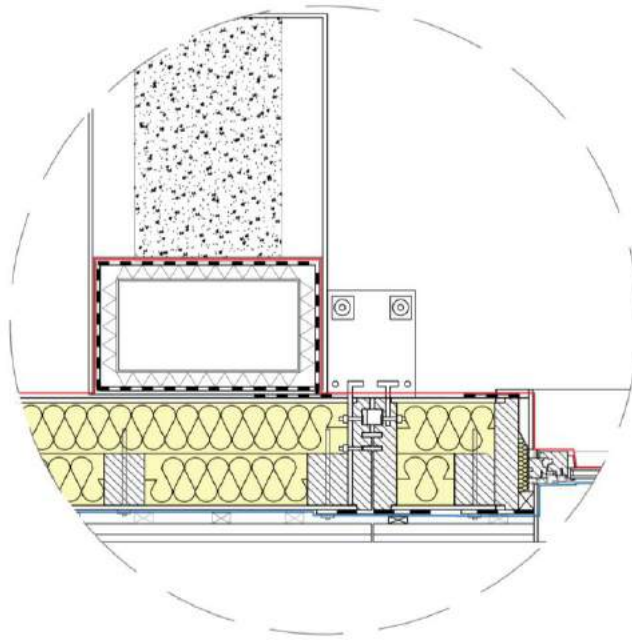


Figure 80: Plan avec la ventilation et l'attache des modules à la dalle.

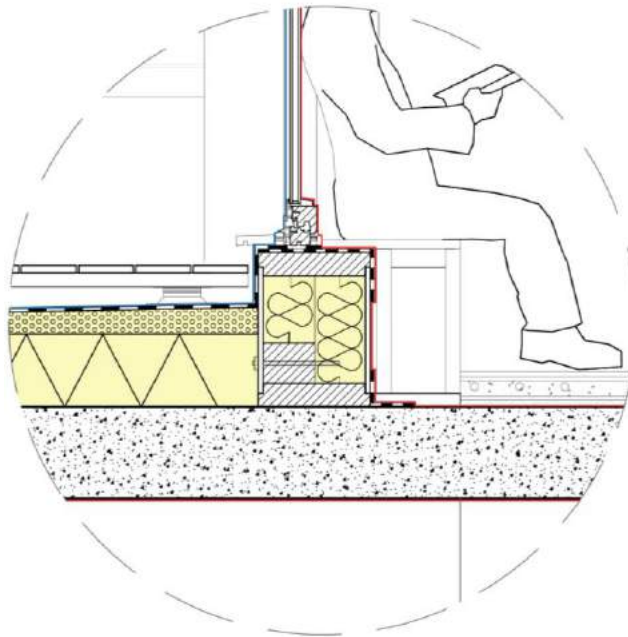
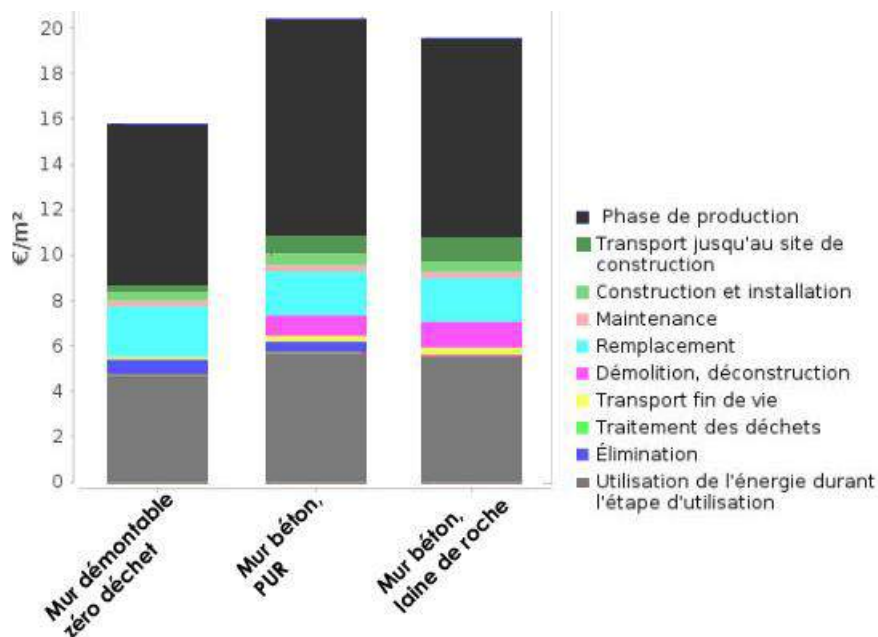


Figure 81: coupe dans la terrasse du 4<sup>ème</sup> étage.  
Source : Documents réalisés par l'auteur.

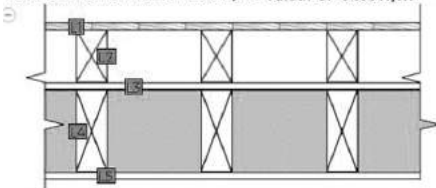
0 0,5m

## Impact par étape du cycle de vie

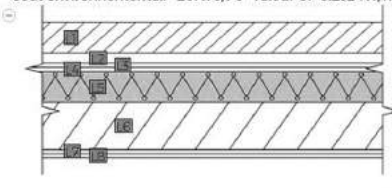
L'impact du cycle de vie a été calculé à l'aide de l'outil Totem, développé par l'OVAM, le service public de Wallonie ainsi que Bruxelles Environnement. Il n'était cependant pas possible de rentrer exactement les mêmes données que celles du module créé et l'outil ne prend pas en compte l'utilisation de matériaux issus du réemploi ou réemployables, ni la situation des usines proches du projet qui utilise un circuit court. Les graphiques montrés ci-dessous illustrent donc la pire situation envisagée et ont pour objectif de donner un ordre de grandeur. Ils démontrent que cette composition de mur démontable sera toujours meilleure qu'une construction classique. On peut en effet constater l'important bénéfice environnemental par rapport à une construction traditionnelle. Le coût environnemental (LCC) d'une façade zéro déchet est estimé à 15,78 euros par mètre carré, alors que le mur en béton et laine de roche est estimé à 19,56 et celui en béton et polyuréthane à 20,41 euros par mètre carré.



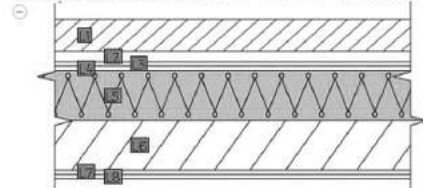
Coût environnemental: 15.78€/FU Valeur U: 0.193W/m²



Coût environnemental: 20.41€/FU Valeur U: 0.2324W/m²K



Coût environnemental: 19.56€/FU Valeur U: 0.2264W/m²



Couche	Matériaux	Epaisseur (m)
L1	Finition de mur, extérieur - élément de fermeture - bardage en bois (non traité) mélèze (épaisseur 22 mm) - vide ventilé	0.022
L2	Mur intérieur - porteur - partie primaire - ossature en bois (sur site, entraxe 60 cm) 14 cm	0.14
L3	Finition de mur, extérieur - panneaux - panneau OSB - 18 mm	0.018
L4	Mur extérieur - porteur - partie primaire - ossature en bois (sur site, 20%) remplie de cellulose (80%) 22 cm	0.22
L5	Finition de mur, extérieur - panneaux - panneau OSB - 18 mm	0.018
<b>Total</b>		<b>0.418</b>

Couche	Matériaux	Epaisseur (m)
L1	Finition de mur, extérieur - élément de fermeture - blocs/briques - brique de parement - brique moulée main M50 (190x90x50) y compris mortier et rejointoyage	0.09
L2	Cavité d'air - 3 cm - non ventilée	0.03
L3	Finition de mur, extérieur - accessoire - crochets de mur - acier galvanisé (180x3,5mm)	0
L4	Finition de mur, extérieur - accessoire - crochets de mur - agrafe de l'isolation	0
L5	Isolation thermique, mur creux - panneaux rigides, non rainurés sur les côtés - polyuréthane (PUR, 30 kg/m³) 9 cm avec revêtement en aluminium	0.09
L6	Mur extérieur - porteur - partie primaire - blocs/briques - béton - creux (290x140x190) y compris mortier (1 cm joint)	0.14
L7	Finition de mur, intérieur - enduit - enduit de plâtre sur maçonnerie - mécanique (pour peinture ou papier peint)	0.01
L8	Finition de mur, intérieur - traitement de l'élément de fermeture - peinture sur enduit de plâtre - peinture acrylique	0
<b>Total</b>		<b>0.36</b>

Couche	Matériaux	Epaisseur (m)
L1	Finition de mur, extérieur - élément de fermeture - blocs/briques - brique de parement - brique moulée main M50 (190x90x50) y compris mortier et rejointoyage	0.09
L2	Cavité d'air - 3 cm - non ventilée	0.03
L3	Finition de mur, extérieur - accessoire - crochets de mur - acier galvanisé (180x3,5mm)	0
L4	Finition de mur, extérieur - accessoire - crochets de mur - agrafe de l'isolation	0
L5	Isolation thermique, mur creux - matelas à languettes - laine de roche - semi-dur (40 kg/m³)	0.14
L6	Mur extérieur - porteur - partie primaire - blocs/briques - béton - plein (290x140x190) y compris mortier (1 cm joint)	0.14
L7	Finition de mur, intérieur - enduit - enduit de plâtre sur maçonnerie - mécanique (pour peinture ou papier peint)	0.01
L8	Finition de mur, intérieur - traitement de l'élément de fermeture - peinture sur enduit de plâtre - peinture acrylique	0
<b>Total</b>		<b>0.41</b>

Figure 82: Composition des murs (de gauche à droite) : 1. démontables, 2. béton et polyuréthane, 3. béton et laine de roche.

Source : Documents issus de TOTEM et modifiés par l'auteur.

### 3.6.4 Coefficient de transmission

L'isolation du bâtiment à l'aide de 28 cm de cellulose permet d'atteindre un coefficient de transmission très bas de 0,13 W/m<sup>2</sup>K pour les murs extérieurs.

Coefficient de transmission de la paroi dans l'isolant :				
Matériaux	Épaisseur [m]	$\Lambda$ [W/mK]	R	Total (W/m <sup>2</sup> K)
			1/8 = 0.125	$R_{tot} = 1/8 + 0,018/0,13 + 0,28/0,04 + 0,018/0,09 + 1/23 = \mathbf{7.51}$ $U = 1/7.51 = \mathbf{0.13} < 0.15$
<b>OSB</b>	0.018	0.13	7.22	
<b>Cellulose</b>	0,28	0,04	0.143	
<b>DWD</b>	0,018	0,09	5	

Coefficient de transmission de la paroi dans un lattage bois:				
Matériaux	Épaisseur [m]	$\Lambda$ [W/mK]	R	Total (W/m <sup>2</sup> K)
			1/8 = 0.125	$R_{tot} = 1/8 + 0,018/0,13 + 0,14/0,04 + 0,14/0,12 + 0,018/0,09 + 1/23 = \mathbf{5,17}$ $U = 1/5,17 = \mathbf{0.19} > 0.15$
<b>OSB</b>	0.018	0.13	7.22	
<b>Cellulose</b>	0,14	0,04	0.29	
<b>Lattage</b>	0.14	0.12	0,86	
<b>DWD</b>	0,018	0,09	5	

Coefficient de transmission de la paroi dans le cadre en bois:				
Matériaux	Épaisseur [m]	$\lambda$	R	Total (W/m <sup>2</sup> K)
			1/8 = 0.125	$R_{tot} = 1/8 + 0,306/0,12 + 1/23 = \mathbf{2.72}$ $U = 1 / 272 = \mathbf{0.36} > 0.15$
<b>Pin d'oregon</b>	0.30	0.12	0.4	
			1/23	

### 3.6.5 Choix et dimensionnement des techniques de ventilation

Il était important que les techniques restent facilement accessibles et soient indépendantes du reste de la façade afin d'être aisément entretenues ou remplacées. En effet, leur durée de vie est bien inférieure à la plupart des composants de la façade puisqu'elle approche d'une quinzaine d'années. Comme expliqué précédemment, les techniques de ventilation sont intégrées en façade devant les colonnes existantes, permettant de préserver une hauteur sous plafond de 2,6 mètres. Cette hauteur se rapproche des 2,7 mètres des immeubles construits de nos jours.

Dans mon bâtiment, je mets en place deux systèmes de ventilation différents correspondant chacun à deux affectations différentes. Dans les deux cas, l'arrivée d'air se fait sur toutes ou certaines façades mais avec des alimentations différentes. L'extraction diffère également.

#### Choix pour les bureaux et les commerces :

Dans les bureaux, l'air arrive par les façades Sud et Ouest. L'alimentation se fait par un groupe de ventilation situé au sous-sol qui prend l'air dans le jardin situé en intérieur d'îlot. Cette manière de faire permet d'éviter la prise d'air sur la terrasse du troisième étage, évitant ainsi un problème de pont thermique, d'étanchéité et de résistance au feu. L'air est repris en façades Nord et Est dans des gaines qui le ramène au groupe de ventilation en cave, avant évacuation dans le jardin. Cela permet à l'air de circuler de manière homogène dans les espaces et ce malgré le cloisonnement de certaines salles de réunion. Les fenêtres sont robotisées afin de s'ouvrir la nuit ou manuellement afin de bénéficier d'un apport de froid naturel.

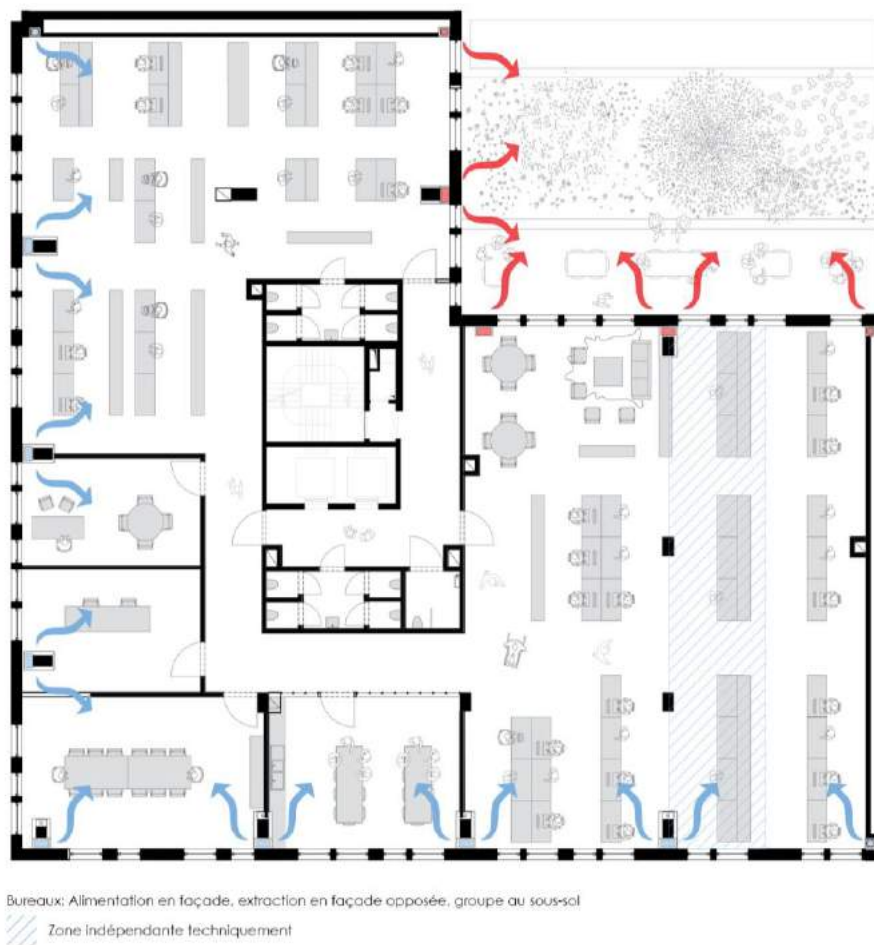


Figure 83 : plan de ventilation des bureaux.  
Source : Document réalisé par l'auteur.



### Choix pour les logements :

Dans les logements, l'arrivée d'air se fait par toutes les façades et s'alimente grâce au groupe existant en toiture. Cela permet d'avoir un air moins pollué que s'il était pris dans la rue. L'extraction se fait par des trémies dans les espaces de services tels que les salles de bain ou encore les cuisines. L'air est ensuite redirigé vers le groupe de ventilation pour récupération de chaleur, avant évacuation en toiture. Une extraction par les façades opposées rendrait le cloisonnement compliqué car tous les logements devraient être traversants.

Les colonnes mesurent 40 x 65 cm.



Logements: Alimentation en façade, extraction en sanitaires, groupe en toiture

Figure 84 : plan de ventilation des logements.  
Source : Document réalisé par l'auteur.

### **Dimensionnement du conduit d'amenée d'air pour les bureaux :**

Les plateaux de bureaux sont divisés en zones traversantes de chacune 65 m<sup>2</sup>. Ces zones sont multipliées aux 4 étages, soit 260 m<sup>2</sup> par gaine de ventilation. Chaque zone compte maximum 9 travailleurs, soit un travailleur pour 7 m<sup>2</sup>.

9 personnes x 22 m<sup>3</sup>/h personne = 198 m<sup>3</sup>/h

198m<sup>3</sup>/h x 4 étages = 792 m<sup>3</sup>/h

792 m<sup>3</sup>/h x 1h/3600s = 0.22 m<sup>3</sup>/s

(0.22m<sup>3</sup>/s) / (4m/s) = 0.055 m<sup>2</sup> pour la section de la gaine.

La largeur des colonnes est de 40 cm et l'espace entre la colonne et la fin de la dalle est de 38 cm. En prenant de la marge pour un isolant phonique, une plaque RF et une finition, je choisis de prendre des gaines de 26 cm sur 21 cm. La colonne, la ventilation, la descente d'eau et les câbles électriques seront donc emballés par une plaque de bois perforée acoustique qui pourra facilement être démontée pour l'entretien. La gaine étant plus large que la colonne, il était plus esthétique et plus pratique de l'emballer.

### **Dimensionnement du conduit d'amenée d'air pour les logements :**

Chaque pièce dite « sèche » (chambre, salon, etc.) est alimentée en air neuf. Le dimensionnement de ces alimentations se fait donc pièce par pièce, en respectant les débits minimums requis selon le type de pièce.

Débit = section en m<sup>2</sup> x vitesse du fluide en m/s

*Exemple de chambre :*

15,7m<sup>2</sup> x 3,6 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>= 56,52 m<sup>3</sup>/h → Le débit peut être limité à 36 m<sup>3</sup>/h et ne doit pas dépasser les 113 m<sup>3</sup>/h.

36 m<sup>3</sup>/h x 4 étages = 144 m<sup>3</sup>/h

144m<sup>3</sup>/h = 3.14r<sup>2</sup> m<sup>2</sup> x 2m/s x 3600 s/ h

144m<sup>3</sup>/h = 22608m<sup>3</sup>/h x r<sup>2</sup>

R= 7cm → d = 15 cm

*Exemple de salon :*

30m<sup>2</sup> x 3,6 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>= 108 m<sup>3</sup>/h → Le débit minimum à prévoir est de 108 m<sup>3</sup>/h et ne doit pas dépasser les 216 m<sup>3</sup>/h.

108m<sup>3</sup>/h x 4 étages = 432 m<sup>3</sup>/h

432m<sup>3</sup>/h = 3.14r<sup>2</sup> m<sup>2</sup> x 2m/s x 3600 s/ h

432m<sup>3</sup>/h = 22608m<sup>3</sup>/h x r<sup>2</sup>

R = 13cm → d = 26 cm

Je choisis de dimensionner toutes les gaines de mes logements avec un rayon de 13 cm.

Lors d'un changement d'affectation des logements en bureaux, le réseau de ventilation sera aisément augmenté lors des travaux de réaménagement intérieur. Les réseaux, facilement accessibles, ne doivent donc pas être surdimensionnés dès le départ.

Un désavantage au fait de placer les techniques devant les colonnes est que la nouvelle façade empiètera légèrement sur l'espace public par rapport à la façade d'origine. En effet, dans ce cas-ci, la nouvelle façade est 30 cm devant l'ancienne, ce qui n'est pas un problème étant donné que la rue devant mon projet est retravaillée et rendue entièrement piétonne. Dans un autre cas où il serait impossible d'empiéter d'une trentaine de centimètres sur le trottoir et où la dérogation ne serait pas obtenue, les techniques devraient soit être placées sur les côtés latéraux de la colonne ou alors l'alimentation en air devrait se faire par la toiture afin de ne pas devoir raccorder les gaines au groupe en sous-sol. Cette dernière manière de faire permettrait d'arrêter les conduits en hauteur et de laisser la hauteur suffisante pour le passage des piétons.

### 3.6.6 Phasage des travaux

Les travailleurs des trois étages de bureaux allant être rénovés doivent partir en vacances pendant environ 9 jours afin de placer les 183 modules des 4 façades des trois étages de bureaux. En me basant sur les exemples des Ateliers de l'Avenir mais également d'Architectes Associés, j'ai estimé que 25 modules pouvaient être fixés en un jour. En effet, dans les projets CIMEDE des Ateliers de l'Avenir, 20 à 30 caissons peuvent être fixés en une journée. Dans le projet Loi 227 où ils utilisent des cadres similaires aux miens avec des dimensions presque identiques, 28 modules peuvent être placés en un jour, pour un chantier de 5 jours. En tout et pour tout, le chantier ne devrait prendre qu'une vingtaine de jours afin de poser les 458 modules et de modifier légèrement l'intérieur des bureaux. Le chantier ne nécessite pas d'échafaudage, ce qui diminue sa durée. En effet, seule une grue située dans la rue Montoyer est nécessaire afin de monter les modules. Celle-ci ne pose pas de problème de circulation car la rue est rendue piétonne dans le master plan (voir ci-dessus).



Figure 85 : Pose du dernier module de Loi 227.  
Source : Architectes Associés, 2018.

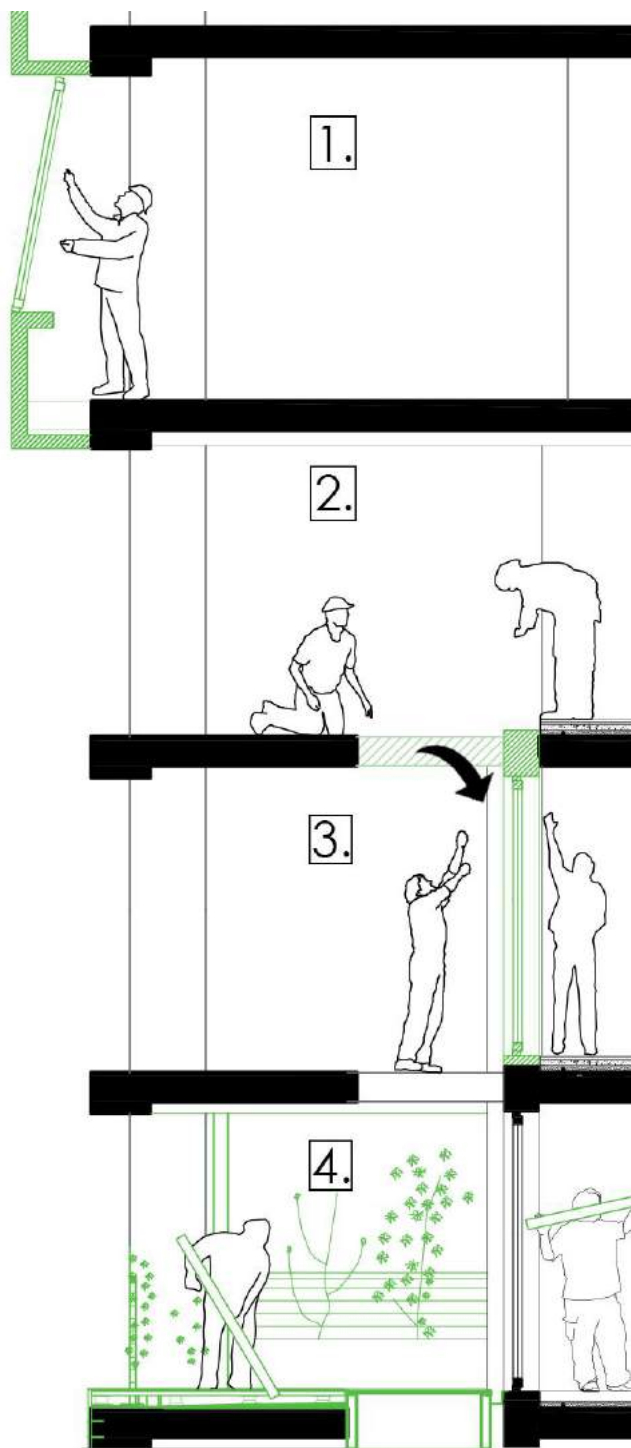


Figure 86 : Coupe schématique des phases du chantier.  
Source : Document réalisé par l'auteur.

1) Démontage de la façade existante. Les châssis métalliques, encore performants et âgés de 5 ans, sont démontés afin d'être rachetés par des acteurs du réemploi de la plateforme Opalis pour bénéficier d'une seconde vie. Le béton est quant à lui scié et dirigé vers une filière de recyclage. Parallèlement à cette tâche, les planches de bois massif issues du réemploi sont découpées, coupées, brûlées et enduites d'huile naturelle de lin afin de former le bardage de bois brûlé.

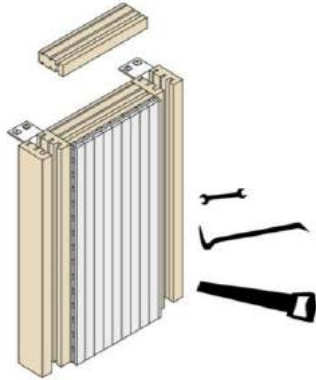
2) Afin de réhabiliter les bureaux en logements, la dalle peut être percée. La troisième phase des travaux correspond donc aux percements de ces dalles pour la mise en place de la façade Sud. A ces étages, les modules seront introduits par le haut de la façade et glissés dans les « trous » des dalles. Le jardin est créé au premier étage.

3) Les modules, entreposés dans les espaces de parking sont mis en place à l'aide d'une grue. Plusieurs personnes placées aux étages les dirigent afin de les placer correctement. Pour la façade Sud qui comporte des terrasses, la mise en place se fait par le haut du bâtiment dans le trou creusé dans les dalles. Celui-ci est assez large pour faciliter les manœuvres des ouvriers qui peuvent se tenir sur la dalle.

4) Les finitions sont posées. Dans les bureaux, les espaces ne subissent que quelques aménagements comme la création de la cuisine afin de diminuer le temps de chantier. Ceux-ci peuvent s'effectuer en une semaine. Dans les logements, les dalles de verres sont posées, les cloisons sont remplacées et le parquet est conservé dans la mesure du possible. Les appartements sont créés.

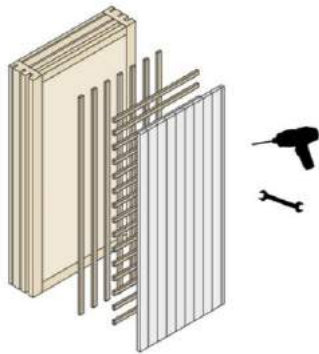
### 3.6.7 Manuel de démontage

Dans le cas d'un simple changement de revêtement, seule la deuxième étape a lieu. Il est à noter que dans le cas d'un chantier lourd (changement d'affectation, déconstruction, etc.), le démontage se fera plutôt par étage que module par module, ce qui sera plus rapide. Le démontage par module peut, comme dit plus haut, prendre presque une demi-journée.



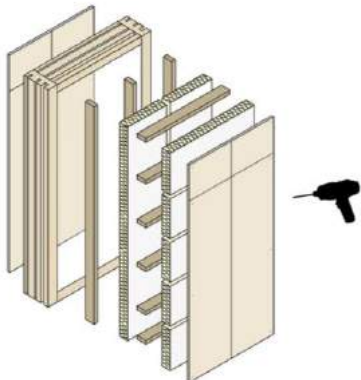
#### 1) Démontage du module

Le démontage d'un module de type cadre peut prendre jusqu'à une demi-journée de travail en raison de l'assemblage mécanique. Les boulons des montants sont retirés et le module est démonté.



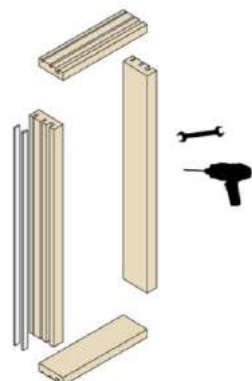
#### 2) Démontage du revêtement

Le bois brûlé est dévissé de son support qui consiste en un lattage et contre-lattage. Ceux-ci sont également dévissé du Dwd.



#### 3) Démontage de l'isolant

Les plaques fermant les modules sont également retirées à l'aide d'une visseuse. Il en est de même pour le lattage et le contre-lattage maintenant les matelas d'isolant en place. Ceux-ci sont simplement enlevés à la main.



#### 4) Démontage du cadre

Le cadre en bois se décompose à l'aide d'une visseuse et d'une clé. Les morceaux d'EPDM compris dans les rainures du cadre sont simplement enlevés à la main.

Figure 87 : Manuel de démontage d'un module.  
Source : Document réalisé par l'auteur.

### 3.6.8 Devenir de ma façade démontable zéro déchet

Selon Thierry Foucart du groupe Kyotech, une façade cadre telle que je la crée devrait avoir une durée de vie approchant les 50 ans. La maintenance est facilitée, ainsi que les changements futurs, permettant de ne pas détruire la façade. Dans le cas d'un changement d'affectation par exemple, mon objectif est, tout comme dans le projet de cité universitaire du bureau Canal (cf ci-dessus), de conserver 90% des éléments de ma façade. Dans le cas d'un changement de matériaux, mon objectif est que celui-ci soit réemployé ailleurs.

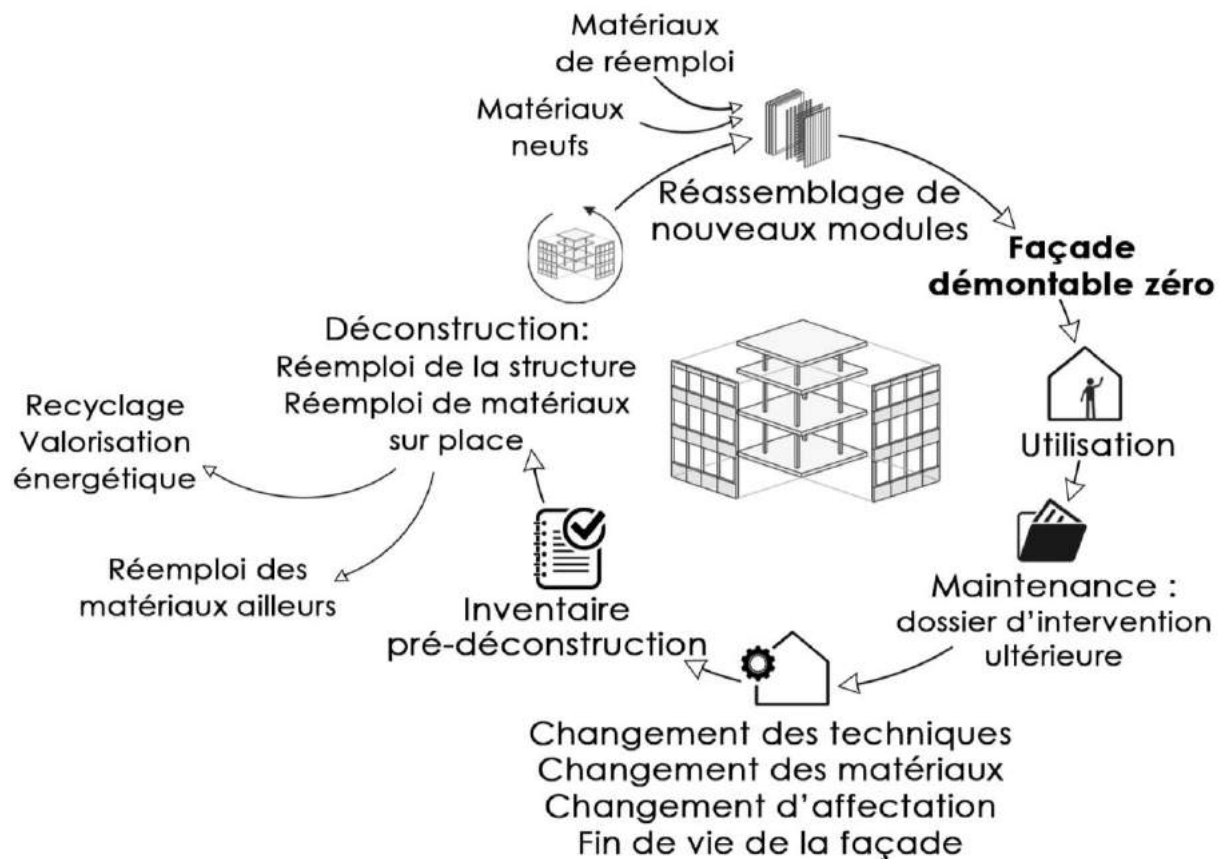
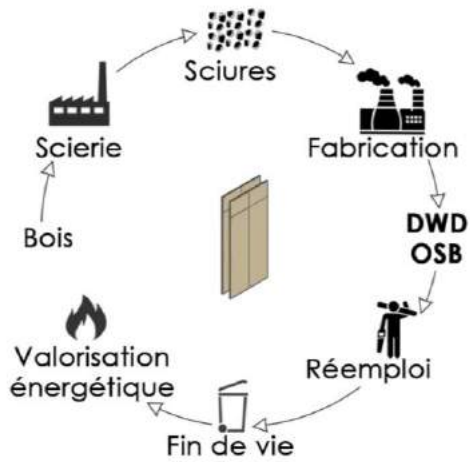


Figure 88: Cycle de vie d'un bâtiment avec une façade zéro déchet.  
Source : Document réalisé par l'auteur<sup>38</sup>.

<sup>38</sup> Je reprends l'idée de ce schéma à Hélène Delmée dans son TFE « Un vade-mechum pour la conception à partir de matériaux de réemploi »

## Devenir des matériaux de ma façade démontable zéro déchet

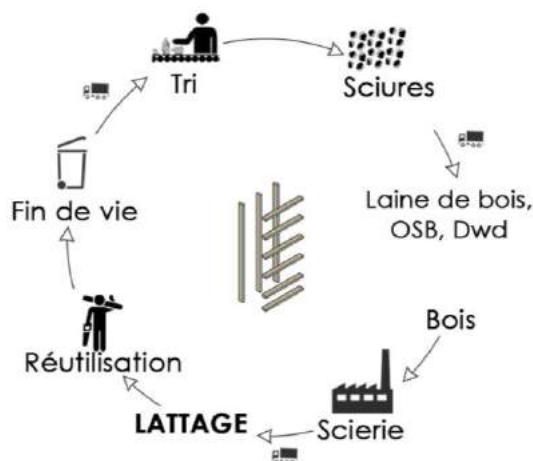
Dans le guide « *Design and detailing for deconstruction* », il est recommandé « d'identifier les meilleures options de réutilisation, de valorisation, de recyclage et de valorisation énergétique » des matériaux en fin de vie. Quel est donc le devenir des composants de ma façade dans le cas où celle-ci est entièrement démontée ?



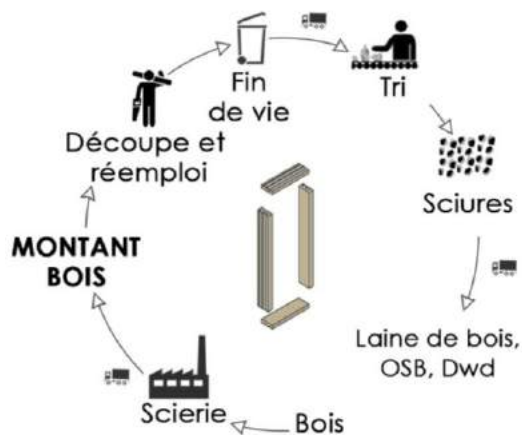
Tout d'abord, le Dwd peut être réemployé en tant que pare-pluie seulement et uniquement si les trous causés par le forage des vis lors de son ancienne utilisation sont couverts de tape, matériau peu pérenne et peu écologique. Sinon, celui-ci peut être utilisé afin de fermer un caisson, en utilisant un matériau supplémentaire pour l'étanchéité à l'eau. En fin de vie, ce matériau sera malheureusement souvent valorisé énergétiquement. Il en est de même pour l'OSB. Le revêtement intérieur en bois peut quant à lui servir au même usage, ou subir le même sort que les matériaux exposés ci-dessus dans le cas où il serait abîmé.



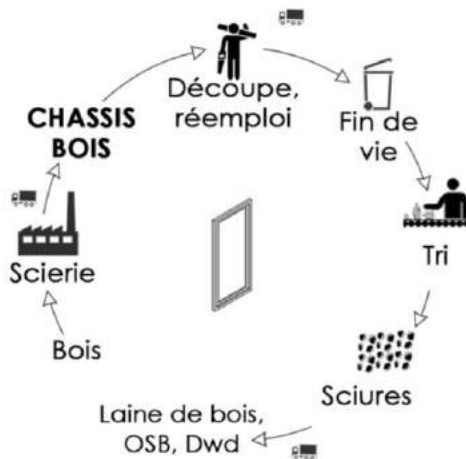
La cellulose en matelas peut tout à fait être réemployée si elle n'a pas été abîmée au cours de son utilisation (infiltration d'eau, etc.). Dans le cas où celle-ci aurait subi des dommages, elle sera recyclée afin de redevenir un isolant performant de cellulose.



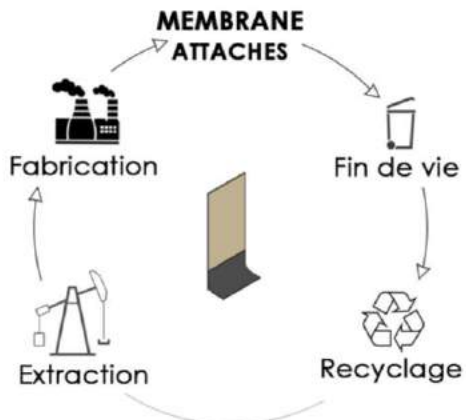
Le potentiel de réemploi du bois est très élevé. Le lattage et contre-lattage peuvent également être revendus dans le but d'être réemployés. S'ils se révèlent trop endommagés, ceux-ci peuvent être recoupés et réemployés, ou être déchiquetés en fibres de bois et devenir des panneaux d'OSB, de Dwd ou encore un isolant en laine de bois.



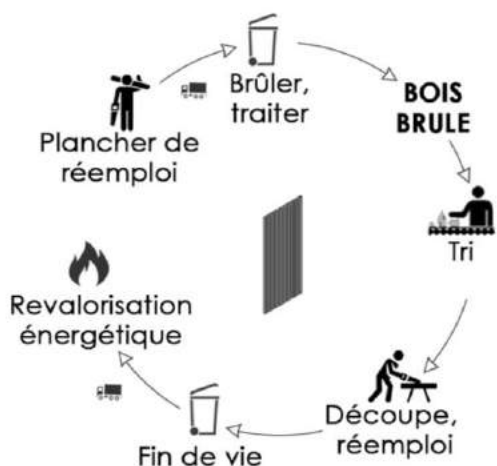
Les montants en bois sont réemployables s'ils sont recoupés. Sinon, ils seront également déchiquetés sous forme de fibres de bois afin de former des panneaux ou des isolants.



Les châssis en bois seront débités afin d'être réemployés lors de la création de parquets en bois de bout. Cette pratique découverte dans l'ouvrage de Rotor se situe entre le réemploi et le recyclage.



Le peu de membrane pétrochimique sera de préférence recyclé, ou proviendra du recyclage de membrane. Le cas échéant, elle sera revalorisée thermiquement. Les attaches métalliques seront également recyclées.



Le revêtement en bois brûlé présente une durée de vie allant jusque 80 ans. Celui-ci peut être réemployé s'il est encore en bon état. Lorsqu'il est endommagé et présente des défauts, ses planches peuvent être recoupées et servir à nouveau en tant que bardage extérieur comme intérieur. Il est également très facilement démontable, une foreuse étant le seul outil nécessaire. En fin de vie, celui-ci est généralement revalorisé énergétiquement.

Figure 89 : Cycles de vie des matériaux de façade.  
Source : Document réalisé par l'auteur.



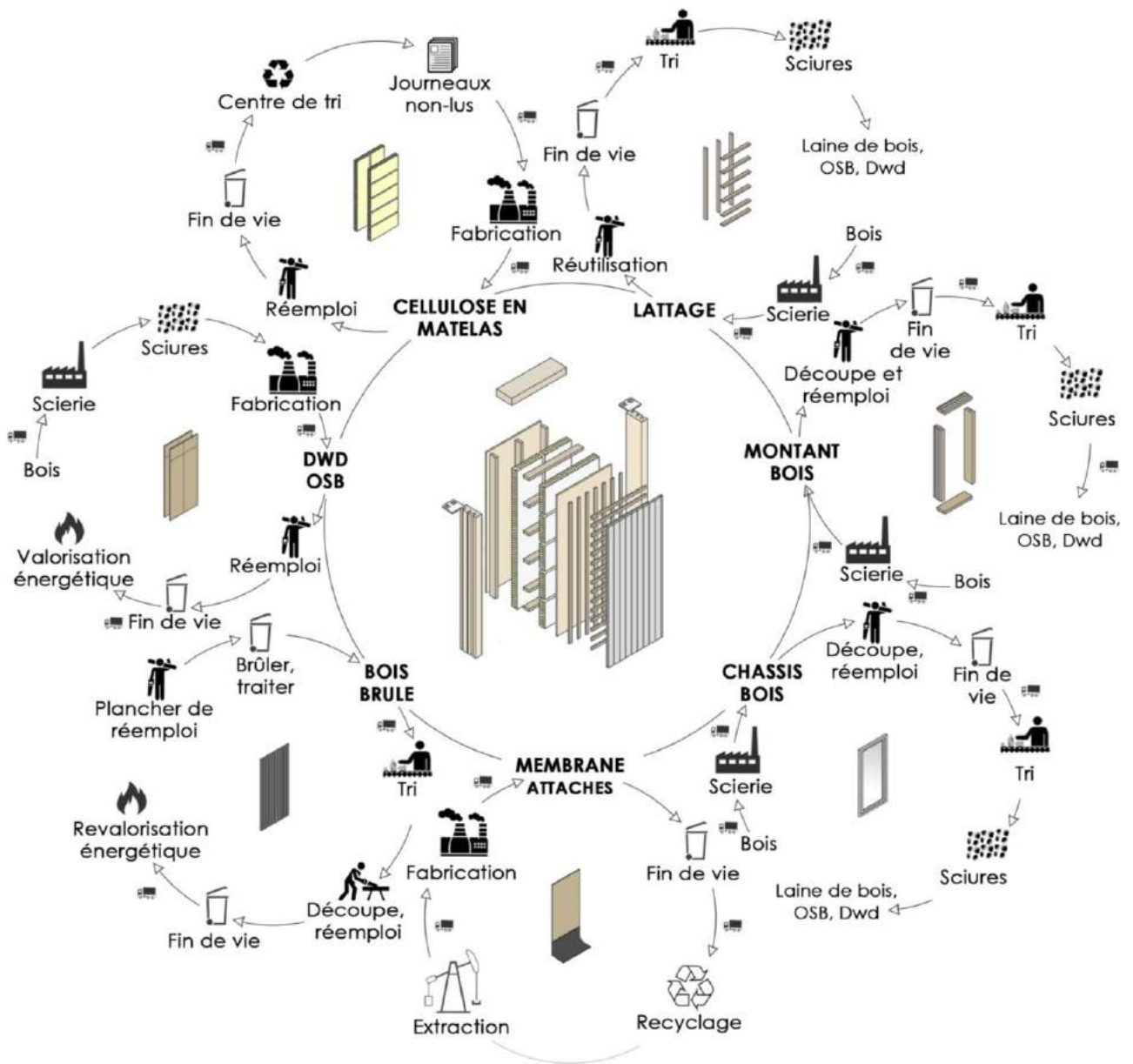


Figure 90 : Cycles de vie des composants des modules.  
 Source : Document réalisé par l'auteur.

### 3.6.9 Estimation des surcoûts

Afin d'estimer le prix de ma façade, je m'adresse à Thierry Foucart du groupe de façadier de Kyotech ayant réalisé le projet Loi 227 dont les cadres sont assez similaires aux miens. J'obtiens un ordre de prix pour les modules de ma façade : « Vous pouvez compter un budget de 700 eur/m<sup>2</sup> soit environ 50 eur de plus qu'une façade traditionnelle »<sup>39</sup>. Il estime donc un surcoût de 7 % par rapport à une construction plus classique, ce qui est proche des 10 % estimés pour les caissons de Gaëtan Duyckaerts des Ateliers de l'Avenir. Par conséquent, pour les 2330 mètres carrés de ma façade, le prix s'élèverait approximativement à 1 630 510 euros. Cependant, cette estimation ne prend pas en compte le revêtement en bois brûlé, ni les techniques dont le coût m'est impossible à estimer. De plus, à ce prix doivent s'ajouter le coût du percement des dalles existantes, de l'aménagement du jardin et de la toiture verte ainsi que des aménagements intérieurs.

Selon l'ouvrage « *Design and detailing for deconstruction* », « La conception pour la déconstruction devrait toujours être adoptée pour ses avantages économiques, sociaux et environnementaux plus larges plutôt que pour toute économie de coût initiale. » Comme vu plus haut, le coût initial plus élevé qu'une construction traditionnelle s'amortit dans le temps avec la revente des matériaux en fin de vie et toute transformation aisée du bâtiment. De plus, ce coût est diminué par l'occupation des bureaux pendant les travaux, évitant ainsi l'interruption des activités pendant le chantier. Un dernier point à prendre en compte et non des moindres est que ce coût ne peut dans ce cas-ci être comparé au coût d'une rénovation de façade traditionnelle mais bien au coût d'un bâtiment traditionnel neuf étant donné que sans la façade démontable intégrant la technique celui-ci serait détruit et un nouveau bâtiment avec une nouvelle structure aurait vu le jour.

---

<sup>39</sup> E-mail reçu par Thierry Foucart le 06.05.2019.



# Conclusion

---

Compte tenu des limites des ressources premières, du gaspillage de matière et d'énergie ainsi que de la production massive de déchets, une architecture démontable zéro déchet est l'un des nombreux pas pouvant être faits vers une consommation plus responsable. Les façades démontables, qu'elles soient appliquées dans le cadre de rénovations ou dès la conception d'un bâtiment dont on anticiperait les changements futurs, sont aujourd'hui une réelle piste pour concevoir de manière responsable. Elles permettent en effet de conserver la structure et donc de diminuer les déchets au moment de sa construction comme de sa déconstruction en réemployant les différents composants de la façade, bien qu'une faible quantité des composants tels les membranes ou encore les attaches métalliques soient uniquement recyclables. Appliquées à des immeubles bas de plafond des années 60-70, elles évitent leur destruction en plaçant les techniques en façade.

Bien que leur prix de départ soit estimé 10 pourcents plus cher qu'une façade traditionnelle, ce genre de façade peut diminuer son coût grâce à la préfabrication et à l'occupation pendant les travaux, à la revente des matériaux en fin de vie et surtout à la conservation de la structure qui bénéficie ainsi de plusieurs cycles de vie. Celle-ci survit en effet aux changements d'affectation, de revêtements et aux évolutions des normes et des techniques. S'il est encore difficile de convaincre le client de prendre en charge un coût initial plus élevé et de se projeter dans le futur, le rôle de l'architecte est de réussir à lui exposer les avantages économiques, sociaux et environnementaux de cette manière de construire.

Selon Jean-Marc Huygen, l'architecte conventionnel est par définition « prescripteur de matériaux neufs ». Mais s'il adapte sa manière de penser et de concevoir l'architecture en tenant compte de la nécessité d'être respectueux de l'environnement, il se place au cœur de cette démarche. Si les architectes étaient informés et sensibilisés au fait de penser à la maintenance, au changement d'affectation et à la fin de vie de la façade et du bâtiment dès la conception, ce serait un premier pas vers une architecture plus démontable et flexible dans le temps. Par conséquent, ce TFE est adressé aux architectes et a pour objectif de les sensibiliser et de les initier aux façades démontables et zéro déchet et à leur potentiel. A travers des exemples construits, il a pour ambition de recenser les avantages et inconvénients de ce type de façades, de recenser des outils et de formuler des conseils pour aider les architectes à les intégrer à leur conception.

En effet, à travers mon cas d'étude, je me suis moi-même « heurtée » aux différentes questions que l'on se pose lorsque l'on construit démontable, et j'en ai généré des principes concrets de conception. Le projet démontre qu'il est possible de conserver la structure de bâtiment bas de plafond et de rendre son enveloppe réversible en adaptant sa manière de concevoir. Si le prix initial est souvent plus élevé, celui-ci est à mettre en perspective dans le temps et s'avère souvent inférieur au coût d'une démolition complète et reconstruction neuve.

Pour conclure, si des freins économiques peuvent aboutir à marginaliser cette bonne pratique, j'ai l'espoir que construire démontable devienne dans les années à venir une pratique architecturale plus répandue. Pour cela, un grand travail doit également encore être réalisé en amont afin de continuer à sensibiliser les différents acteurs depuis le maître d'ouvrage jusqu'aux entrepreneurs, de démocratiser les prix par la généralisation et la reproductibilité de ses principes et du réemploi, et surtout d'adapter la législation afin d'encourager une architecture plus démontable et zéro déchet.

# Annexes

## 1. Catalogue de références

Le catalogue présente les références de manière plus complète.

### 1.1 Circular Retrofit Lab (VUB, 2019, Bruxelles)

Le chantier du Circular Retrofit Lab a été visité dans le cadre du cours de séminaire le 7 novembre 2018. Des architectes faisant partie du projet tels que Jeroen Poppe et Stijn Elsen ont pu être interrogés lors de l'exposé.

#### En quelques mots

Nom	Circular Retrofit Lab
Implantation	Boulevard de la plaine n°2, Ixelles, Belgique.
Fonction	Laboratoire du réemploi et accessoirement : bureau, exposition, logement.
Date	2017 – toujours en cours.
Surface	Inconnu
Client	Vrije Universiteit Brussel
Architectes	Equipe de recherche TRANSFORM de la VUB
Budget	Inconnu

#### Présentation

Le projet, nommé Circular Retrofit Lab, consiste en la rénovation de kots étudiants construits par Willy Van Der Meer en 1973. Il fait partie des six cas d'étude du projet européen HORIZON2020 « Buildings As Material Banks » (BAMB). La rénovation utilisera la réversibilité puisque les bâtiments jouent le rôle de laboratoire expérimental pour le réemploi au sein du campus de la VUB.

Actuellement, la VUB a choisi de ne s'occuper que d'un seul kot de 8 modules. Seule la structure existante en béton de ce logement est préservée. Dans ce projet, aucun autre matériau existant n'a été conservé ou réemployé car l'architecture des années 70 ne permettait pas du tout le démontage, rendant le réemploi trop onéreux. La nouvelle façade posée en novembre 2018 est une façade démontable, les parois sont réversibles et de nouvelles techniques sont intégrées afin d'améliorer les performances du logement.

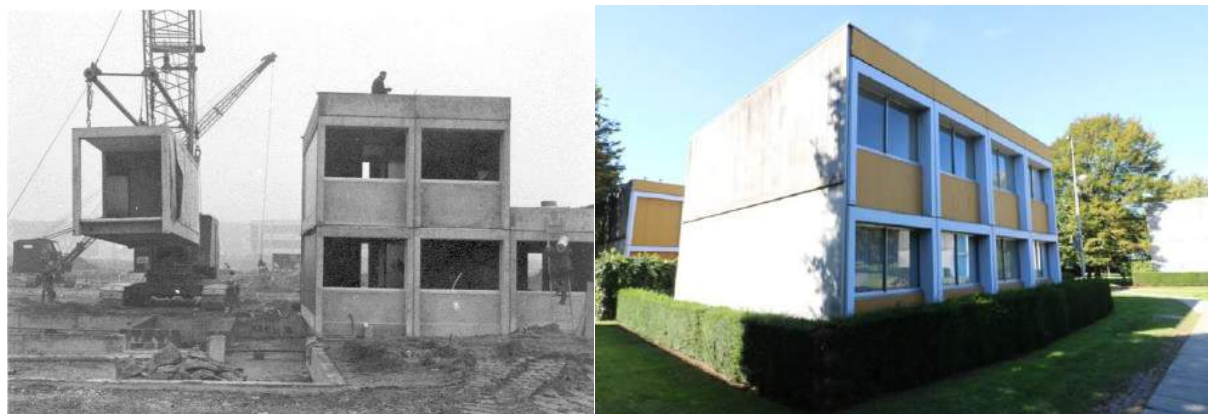


Figure 91 : Mise en place de la structure préfabriquée en 1973. Figure 92 : Le bâtiment tel qu'il était avant le début du chantier.



Figure 93 : préservation de la structure du bâtiment ;



Figure 94 : Le projet finit.

Le bâtiment présente 3 affectations :

- 1) "Dissemination Space" pour des conférences, des expositions sur l'avancement du projet BAMB, etc.
- 2) "Plugin office" (fonction de bureau).
- 3) Eco guestrooms (fonction de logement) à l'étage. Grâce à la démontabilité, le bâtiment pourra être facilement adapté afin d'accueillir une nouvelle fonction au premier étage tous les 6 mois.



Figure 95 : Nouvelles fonctions du bâtiment.

Toutes les techniques installées doivent être le plus réversible possible. Les tuyaux de ventilations seront donc apparents et non pas cachés derrière un faux plafond, ce qui facilite notamment la maintenance.

## Façades :

Les éléments de façade sont des éléments préfabriqués et réversibles qui peuvent s'adapter selon la fonction du bâtiment. Les modules préfabriqués s'accrochent à la structure existante à l'aide de petites équerre métalliques ancrées dans les colonnes de béton. Les modules ont été préfabriqués à l'exception du revêtement qui a été posé après-coup pour ne pas l'endommager. Les châssis en bois des fenêtres peuvent changer de place en fonction de l'affectation en s'insérant dans la façade rideau. Les éléments de façade sont en retrait par rapport à la structure existante afin de bénéficier d'une continuité de l'isolant, l'isolation passant derrière la structure, mais également de permettre des gaines verticales. La logique structurelle reste la même qu'auparavant, ce qui permet de respecter l'architecture initiale. Les architectes n'ont pas voulu partager plus de détails techniques.

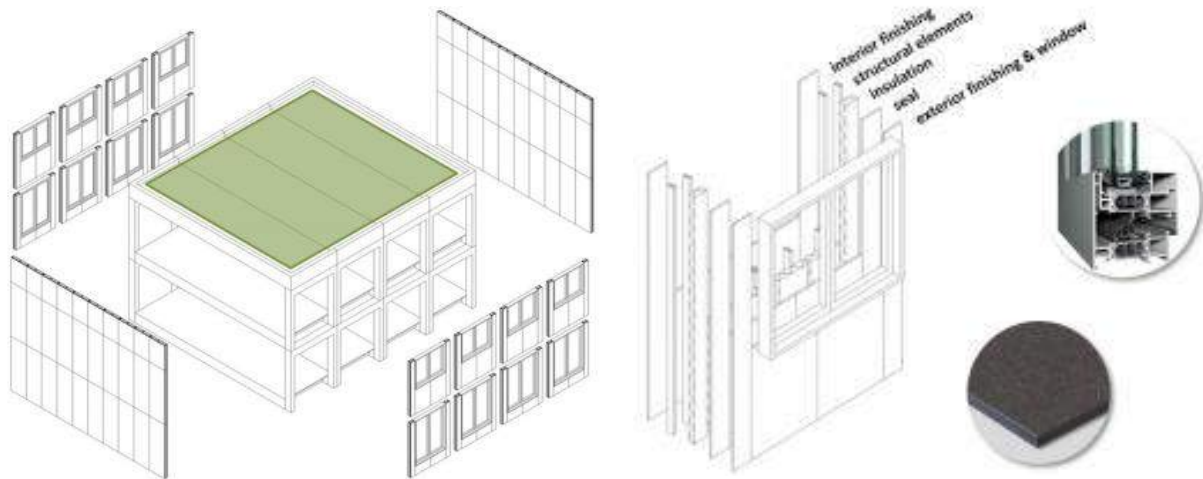


Figure 11 et 12 : composition de la façade.

L'un des objectifs était d'améliorer les performances thermiques du bâtiment ainsi que les différentes étanchéités, tout en gardant l'esprit de l'architecture initiale et de prévoir la réversibilité. Ils collaborent avec des bureaux techniques afin d'arriver au niveau PEB, ce qui correspond plus ou moins aux exigences du passif.



Figure 96 : chantier du projet.



Figure 97 : accroche des modules préfabriqués

### Parois démontables :

Le Gyproc ne s'inscrivant pas dans une logique de réemploi, les architectes et les étudiants de la VUB ont testé plusieurs types de parois démontables intérieures.

Ils travaillent sur différents scénarios, afin que la paroi utilisée soit pertinente au niveau de sa durée de vie et de son coût. Par exemple, si le bâtiment n'évoluait que tous les 10 ans, ces systèmes ne seraient pas pertinents et trop onéreux.

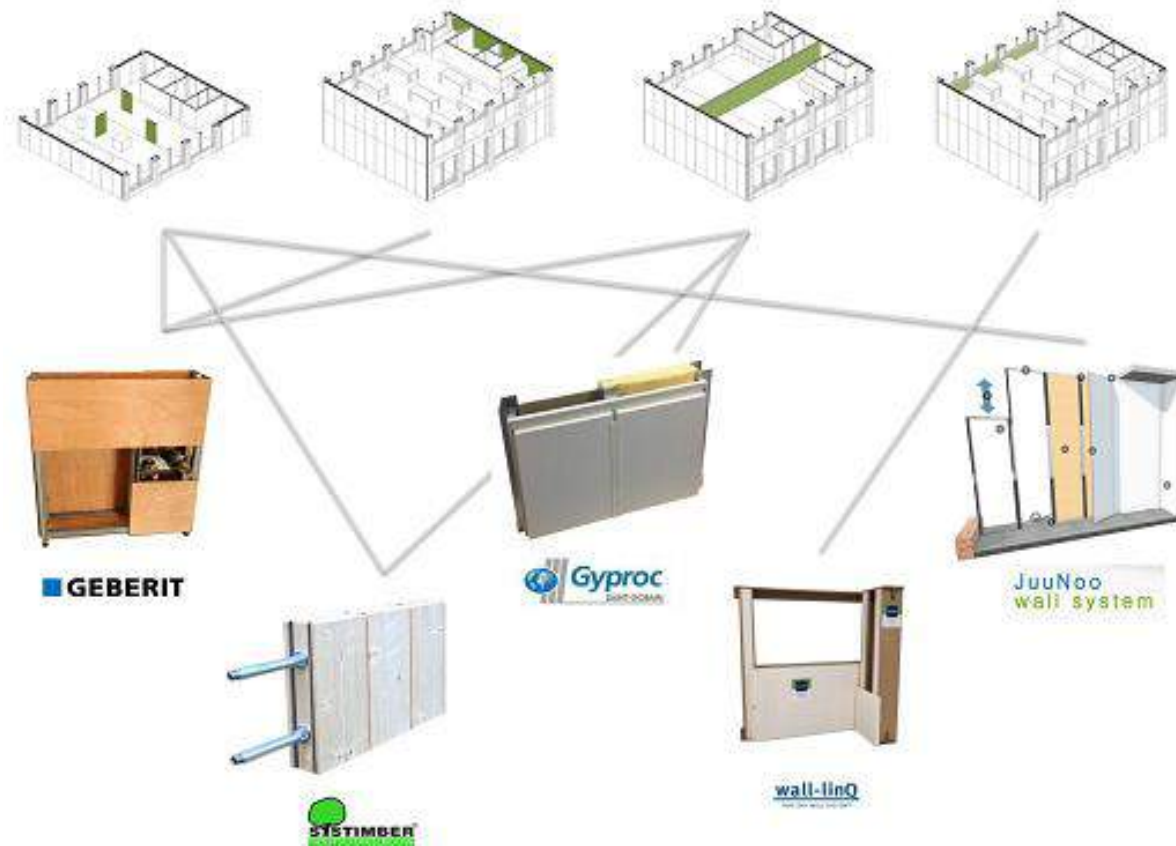


Figure 98 : Le type de paroi correspondant à l'usage approprié au sein du bâtiment.  
Source de toutes les images du projet : Auteur Anonyme 1, 2018.

### Point de vue critique

Le projet a réussi à lier performances techniques et réversibilité. Cependant, comme il s'agit d'un projet expérimental, nous ne pouvons pas encore savoir si les assemblages réversibles seront régulièrement utilisés et donc rentabilisés économiquement. Certaines parois sont très onéreuses. De plus, les matériaux du bâtiment initial n'ont pas été réemployés. Un dernier point négatif est que le désir de garder les poutres apparentes en façades comme dans le pavillon de base implique un raccord d'isolation intérieure derrière les colonnes ou une faiblesse thermique.

Bien que le travail s'intéresse avant tout aux façades, le travail de la VUB sur les parois intérieures démontables est intéressant et pourra aider d'autres architectes.



## 1.2 Architectes Associés

Le bureau Architectes Associés a pour prise de parti d'essayer de conserver l'ossature d'un bâtiment existant quand cela est possible afin de diminuer le budget et la production de déchets. Le bureau est également spécialisé dans la création de pans de façades préfabriqués démontables, ce qui diminue la durée de chantier et le budget. Sabine Léribaux a été interviewée le mercredi 12 décembre 2018. Le détail de l'interview se trouve à la fin du catalogue.

### 1.2.1 Loi 227 (Architectes Associés, 2008, Bruxelles)

#### En quelques mots

Nom	Loi 227
Implantation	Rue de la Loi 227, 1000 Bruxelles, Belgique.
Fonction	Bureaux
Date	2006-2008
Surface	6 110 m <sup>2</sup> hors sol
Client	Banque européenne d'investissement
Architectes	Architectes associés
Budget	4 200 000 € HTva

#### Présentation

Le projet, situé rue de la Loi, consiste en la rénovation de la façade et de l'intérieur d'un immeuble de bureaux des années 1970. Il accueille la Banque européenne d'investissement.



Figure 99, 100, 101 : façade de Loi 227.

#### Façade

Le bâtiment présentait un équipement technique et une façade devenus obsolètes. De nombreux ponts thermiques étaient présents. Cependant, la structure en béton était encore tout à fait en état. La nouvelle façade devait donc répondre aux normes énergétiques du moment.

L'une des grandes contraintes de cette rénovation était que le bâtiment devait rester occupé pendant toute la durée des travaux, et également qu'elle ne devait pas perturber les activités des locataires. Afin de répondre à cela, ils ont créé des modules préfabriqués en atelier qui viennent se fixer à la structure à l'aide de grues. Le groupe KYOTEC a collaboré avec le bureau pour la conception de la peau isolée qui est parvenue à faire atteindre des standards passifs à l'immeuble. Un revêtement en aluminium recyclé est fixé sur un lattage en bois, qui est lui-même accroché à la structure existante en béton. L'aluminium anodisé recyclé a été choisi car l'énergie pour le produire était moindre par rapport à celle d'un acier thermolaqué qui est moins recyclable. Loi227 est le premier projet dans lequel le bureau expérimente la préfabrication et cette manière de réaliser l'étanchéité à l'air.



Figure 102 : Module préfabriqué de la façade.



Figure 103 et 104 : Mise en place du module lors du chantier.

Un simple lamellé collé a été utilisé pour son prix bas, bien que cette essence ait des nœuds qui ont tendance à sauter et à permettre les infiltrations d'eau.

La jonction entre les cadres se fait par un serrage mécanique. Une pièce EPDM est mise entre les deux et il y a deux zones d'étanchéité à l'air par précautions.

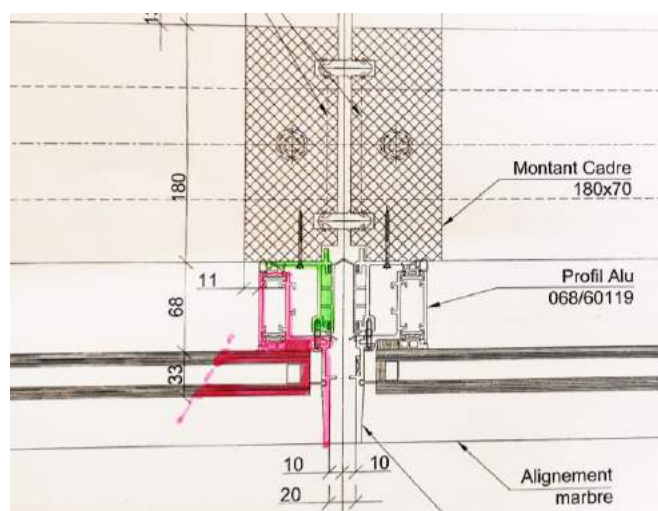


Figure 105 : détail technique donné par Sabine Lériveau. Jonction entre deux modules.

Le maître d'ouvrage qui se souciait du confort et du bien-être des usagers, voulait les déranger au minimum et obtenir le permis rapidement. Une dérogation avait déjà été obtenue pour mordre sur le trottoir et le client a refusé de changer les techniques, elles ont juste été rhabillées. Pour ces différentes raisons, les techniques n'ont pas été intégrées dans la façade.

### Point de vue critique

Loi 227 est difficilement démontable module par module à cause de la jonction qui est réalisée par un serrage mécanique. Les cadres de la façade sont très étanches à l'air, mais selon Sabine Lériveau, il n'était pas nécessaire de mettre plusieurs membranes pour assurer l'étanchéité à l'air. La présence de ces membranes non réemployables ne répond pas à mon critère de zéro déchet. Ce système rend la démontabilité plus difficile, mais ceux-ci sont cependant plus pérennes. Dans ce projet, les techniques ne sont malheureusement pas intégrées dans la façade. L'un des points forts du projet est le fait que le bâtiment a pu rester occupé pendant presque toute la durée des travaux grâce à la pose de modules préfabriqués. La préfabrication de ces modules a permis de meilleures performances et une grande précision.

## 1.2.2 AEROPOLIS II (Architectes Associés, 2010, Bruxelles)

### En quelques mots

Nom	AEROPOLIS II
Implantation	Avenue Urbain Britsiers 5, 1030 Brussels
Fonction	Immeuble de bureaux
Date	2005-2010
Surface	7 388 m <sup>2</sup> au dessus du sol, 2 702 m <sup>2</sup> en sous-sol
Client	Groep Arco - KWB - KAV – KAJ
Architectes	Architectes Associés
Budget	13 500 000 € htva

### Concept



Figure 106 et 107 : façade d'Aéropolis II.

Le projet Aeropolis II était lors de sa conception le plus grand immeuble de bureaux passif en Europe. Une fois achevé, il n'en restait pas moins le plus grand de Belgique. Le client étant très soucieux de l'environnement, une grande attention a été portée à la consommation d'énergie du bâtiment et à l'utilisation de ressources durables. Le bâtiment est très compact, ce qui permet d'avoir moins de surfaces de déperditions thermiques. La structure est réalisée en béton préfabriqué car c'est un matériau inerte thermiquement. Les espaces sont tournés vers un patio qui amène de la lumière du jour au sein du bâtiment.

Pour ce projet, les surcoûts étaient relativement bas puisqu'ils s'élèvent seulement à 3% par rapport au budget total.

#### Apports de chaleur

Dans un immeuble de bureaux densément occupé et rempli d'équipements qui génèrent de la chaleur (éclairage et appareils électroniques), il était important de veiller à limiter et contrer la surchauffe. Grâce à la bonne isolation du bâtiment, aucune climatisation active n'a dû être mise en place. Des protections solaires, une surface moins importante de vitrage, des luminaires couplés à des détecteurs de présence et le free cooling -système de refroidissement passif- ont été mis en place. De plus, le bâtiment se ventile la nuit en aspirant de l'air frais grâce aux ouvrants motorisés.

#### Modules de façade

Les modules qui viennent s'accrocher sur la façade rideau sont des modules préfabriqués avec un système de cadre en bois, étanches à l'air, bien isolés, réalisés avec le façadier Kyotech. Leurs performances thermiques élevées ont été plus faciles à atteindre grâce à la réalisation en atelier. Ces modules permettent, tout comme dans le projet précédent, une réduction de la durée

de chantier. Ces modules de 90 cm de large se déclinent de trois manières différentes et peuvent être totalement pleins, totalement vitrés ou alors pleins et vitrés à la fois (30 cm de plein, 60 cm de vitre). Ces variations permettent plusieurs choses. Premièrement, elles permettent d'amoindrir le côté répétitif de la façade dû à la préfabrication. Ensuite, cela permet d'avoir plus ou moins de surface vitrée en fonction de l'activité que le bâtiment abrite. De cette manière, un bureau se transformant en logement peut accueillir un module vitré et plein à la place d'un module plein afin de répondre aux exigences de lumière du jour d'un logement. Le plan d'un bureau type est composé de trois modules de 90cm ce qui rend le bâtiment très modulable. Les fenêtres présentent un triple vitrage ainsi que des protections solaires. L'étroitesse des modules engendre un grand nombre de montants et donc de profils à usiner, de joints et de finitions, ce qui est plus cher.



Figure 108: modules préfabriqués de 90 cm de large.

### Composition des modules

Les modules se composent d'un cadre bois rempli d'isolant thermique. Etant donné la sensibilité du bois aux conditions hygrothermiques, le pin d'Orégon, bois belge, a été soigneusement choisi ; Ces cadres sont fermés par côté extérieur un panneau de fibrociment qui est lui-même recouvert d'un fin panneau isolant. Côté intérieur, une étanchéité à l'air est recouverte d'un isolant phonique et c'est un panneau multiplex perforé qui joue le rôle de finition. Le module entier est préfabriqué, seuls les stores, plus fragiles, ne sont pas compris.

### Etanchéité

Dans ce projet qui présente un assemblage de type de tenons et mortaise, aucune étanchéité EPDM n'a été utilisée puisqu'elle se fait par l'assemblage. Comme l'étanchéité se fait par serrage mécanique, démonter module par module est difficile, il est bien plus facile de démonter un étage entier.

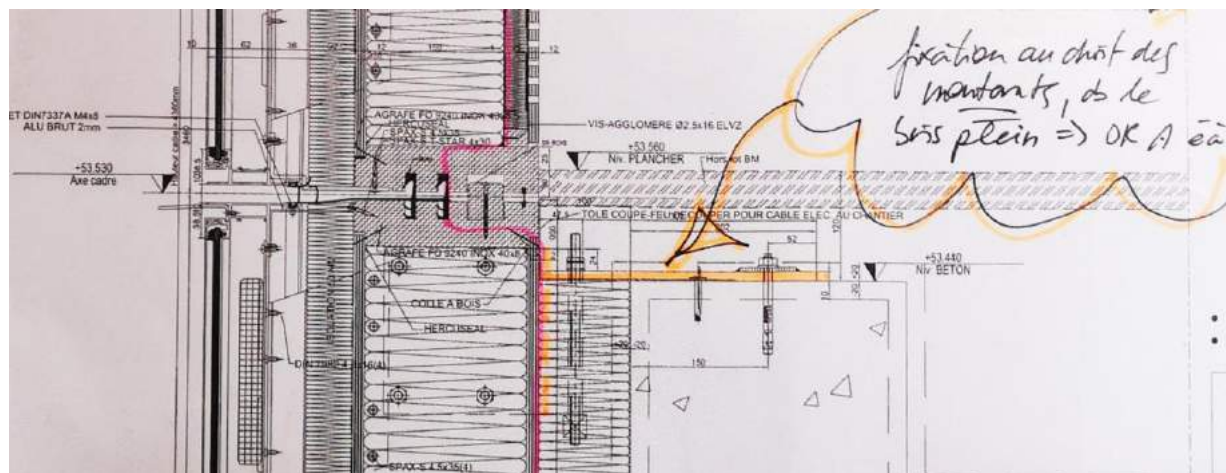


Figure 109 : Etanchéité à l'air entre panneaux en rose.

## Fixations des cadres à la structure

Ce sont des attaches qui fixent les cadres à la structure en béton.

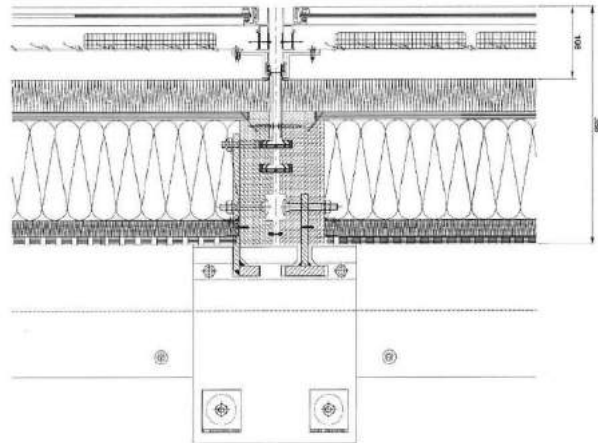


Figure 110 et 111: fixations horizontales en photo et plan.

## Logistique, manutention

Ce sont des camions aux toits rétractables qui ont transporté les cadres depuis l'usine, avant que des grues ne prennent le relais sur chantier. Le chantier n'a donc pas nécessité d'échafaudage, ce qui a raccourci la durée des travaux. Les cadres préfabriqués et leurs fixations ont également permis une durée de chantier plus courte qu'un chantier normal. Le nombre d'hommes du métier était limité.

Une zone d'entreposage était prévue sur chantier.

## Flexibilité

L'espace est divisé en zones qui s'alignent à des éléments de façade. Ces zones sont indépendantes au niveau des équipements techniques et peuvent être cloisonnées selon les besoins du moment que la travée technique est au complet (soit un ouvrant, ainsi qu'une bouche de ventilation et d'extraction). L'éclairage, lui aussi, est aligné à une série d'éléments en façade, et non en fonction de l'aménagement du moment. Les techniques sont installées par travée.

## Point de vue critique

La structure en béton, difficilement recyclable, aurait pu être remplacée par du bois.

L'étanchéité étant assurée par l'assemblage des deux cadres, ceux-ci ne sont pas très faciles à démonter. Il est difficilement possible de démonter panneau par panneau, le démontage doit s'appliquer à plusieurs panneaux et passer par un chantier lourd. Cependant, la peau semble presque zéro déchet.

Au niveau de la flexibilité, ce sont tous les éléments de façades qui conditionnent les emplacements des techniques (ventilation, éclairage,...). Les ouvertures en façades déterminent aussi le cloisonnement. Il est très intéressant de voir que le dimensionnement des surfaces vitrées permet d'accueillir plusieurs fonctions selon la combinaison que l'on choisit. On peut donc se rendre compte de l'importance de la façade pour le critère de la flexibilité.



### 1.2.3 ELIA GREEN BUILDING (Architectes Associés, 2013, Bruxelles)

#### En quelques mots

Nom	ELIA GREEN BUILDING "NOUVEAU SCHAERBEEK"
Implantation	Quai Léon Monnoyer 1000 Bruxelles
Fonction	Immeuble de bureaux
Date	2009 - 2013
Surface	10 000 m <sup>2</sup> hors sol et 24 000 m <sup>2</sup> de télécabines, parkings et aménagements paysagers
Client	Elia Asset
Architectes	Architectes associés
Budget	19 000 000 € HTVA

#### Concept



Figure 112 et 113 : Elia Green Building.

Le projet, situé le long du quai Monnoyer à Bruxelles, est un immeuble neuf de bureaux passif pratiquement zéro énergie niveau électricité et consommation gaz. Le projet comprend un auvent de stationnement de 200 places couvert de panneaux photovoltaïques et des espaces de dépôts. La forme du bâtiment en forme de V suit le canal, et le volume est assez compact.

Lors du chantier, les déchets de construction ont été triés et recyclés, mais pas réemployés.

#### Façade

La façade du bâtiment consiste en un mur-rideau passif. La structure du bâtiment en béton pour l'inertie thermique et la durabilité est réduite au strict nécessaire et porte de façade à façade. Des hourdis en béton de 13 mètres reposent sur des poutres. Les poutres de façade rendent possible l'enlèvement de certains modules préfabriqués afin de permettre une terrasse ou un bow-window. Le bâtiment de bureaux peut par conséquent changer d'affectation et se transformer en logement après démontage des modules de 5,4 mètres de largeur et de 3,6 mètres de hauteur. Ces modules reposent sur des colonnes ayant donc un entre-axe de 5,4 mètres. Ils sont constitués d'un système de caisson préfabriqué et démontable qui est réalisé en bois et est recouvert d'une feuille d'aluminium recyclée pour les mêmes raisons que le projet précédent. Le bois est du *structural veneer lumber*, c'est-à-dire des couches de 3mm collées et pressées ensembles afin de ne pas bouger. Les modules sont remplis par un isolant en laine de roche de 27 cm d'épaisseur qui prend les gains internes du bâtiment en compte. Ce sont les plaque d'OSB qui jouent le rôle de pare vapeur côté intérieur, et de pare-pluie avec une barrière étanche à l'eau côté extérieur. Les finitions intérieures sont en bois. Les surfaces vitrées correspondent à 45% de la surface de la façade de bureau et sont équipées de protection solaire externes. Les

modules ont été pensés afin d’offrir une lumière du jour appropriée à chaque espace, ce qui est une amélioration depuis Loi 227 et Aéropolis. Tous les matériaux ont été choisis en tenant compte de leur impact sur la santé et de leur énergie intrinsèque afin que celle-ci soit la plus faible.



Figure 114 : Jonction entre modules.

### Point de vue critique

Les caissons sont moins durables et pérenne, mais plus démontables que les cadres. La façade n’est pas zéro déchet et n’intègre pas le réemploi ou des techniques en façade.



## 1.2.4 Brussels Greenbizz (Architectes Associés, 2016, Bruxelles)

### 1.1 En quelques mots

Nom	Brussels Greenbizz
Implantation	Rue Dieudonné Lefèvre, 37 1020 Bruxelles
Fonction	Incubateurs, ateliers et bureaux
Date	2012-2016
Surface	Ateliers de 5 000 m <sup>2</sup> - 2 500 m <sup>2</sup> de bureaux - 4 500 sous-sols
Client	Citydev.brussels
Architectes	Architectes Associés
Budget	12 058 000 € htva

### Concept



Figure 115 et 116 : Greenbizz.

Le projet s'implante sur un ancien site industriel pollué de Bruxelles. Il fait partie de TIVOLI, plan de développement urbain financé par FEDER et CITYDEV. Ce plan intègre logements et équipements économiques tels que ce Grennbizz. Ses deux bâtiments intègrent des bureaux passifs, des ateliers pour des entreprises soucieuses de l'environnement, un incubateur et des espaces publics (exposition et café). Il a pour objectif d'être accueillant et de créer une ambiance dynamique entre visiteurs, spécialistes et occupants. Deux rues couvertes offrent le spectacle des vitrines des ateliers.

### Façade

La structure est composée de colonnes et de dalles en béton, tandis que l'enveloppe consiste en des caissons préfabriqués en bois de 2,25 mètres de large remplis de cellulose en vrac.

Ce sont des joints EPDM, soit des joints en caoutchouc, qui permettent d'assurer l'étanchéité à l'eau en joignant les différents cadres entre eux. Si cette idée semblait bonne sur papier, les joints EPDM collés au cadre se sont abimés lors de la manutention et du transport sur chantier. Il était donc extrêmement difficile de réaliser l'étanchéité une fois les modules posés, la membrane étant toute déchirée. Les hommes de métiers ont alors décidé avec les architectes de réaliser un joint de silicone. Ce joint est censé être entretenu tous les ans, or la finition intérieure ne permet pas cet entretien.

Ce qui est très intéressant dans ce projet, c'est que c'est au cours du chantier que le bureau Architectes Associés a expérimenté la démontabilité pour la première fois. En effet, Greenbizz

a été incendié de manière criminelle lors des travaux, ce qui a donc poussé les architectes à retirer certains modules endommagés. Le démontage des caissons s'est révélé extrêmement facile, au contraire des cadres qui ont été choisis dans les projets ultérieurs. Il a suffi d'insérer une scie à bois entre les modules, de scier l'EPDM, d'enlever le module endommagé et d'en remettre un autre dont il faut réaliser l'étanchéité.

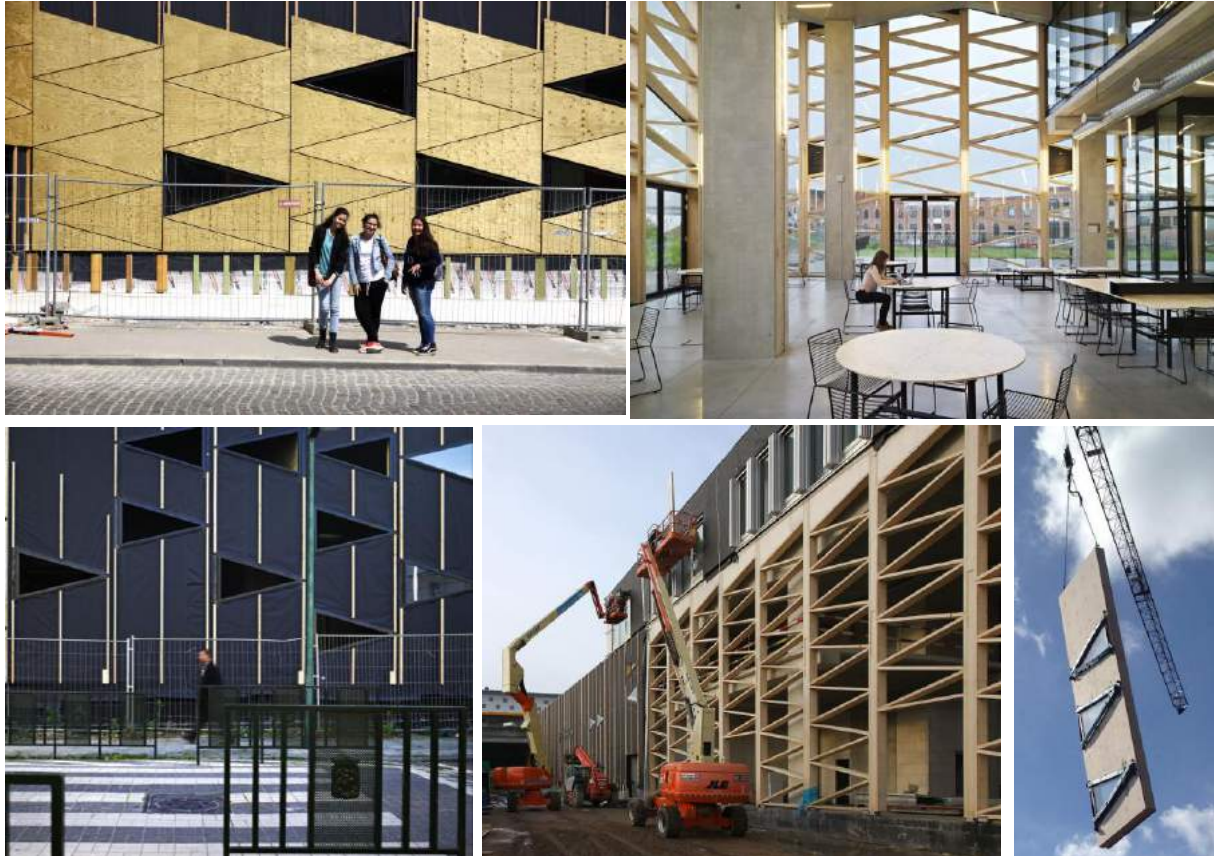


Figure 117, 118, 119, 120: Façades.

Figure 121 : Module.

### Point de vue critique

Les cadres de Greenbizz, bien que moins écologiques et pas zéro déchet avec le silicone, sont très faciles à démonter. Il suffit de couper la membrane avec une scie pour que les modules se séparent. Un autre point négatif est l'utilisation de la cellulose en vrac. Pour réaliser tous les tests de densité, les architectes ont troué les façades à de multiples endroits, qu'ils ont ensuite recouvert d'un ruban adhésif, ce qui n'est pas la meilleure chose à faire. De plus, lors de l'incendie, la façade avait d'abord été endommagée, et la cellulose en vrac a contribué à la propagation de l'incendie. Les matelas de cellulose sont donc à préférer.

## 1.2.5 HD54 (Architectes Associés, 2018, Bruxelles)

### En quelques mots

Nom	HD54
Implantation	Avenue Hermann-Debroux 54, 1160 Auderghem
Fonction	Immeuble de bureaux
Date	2016-2018
Surface	9 355 m <sup>2</sup> en surface et 4 651 m <sup>2</sup> en sous-sol
Client	Gestionnaires AXA - AXA Belgium
Architectes	Architectes Associés
Budget	Inconnu

### Concept



Figure 122 et 123 : HD54.

L'immeuble de bureau accueille la compagnie d'assurance AXA. L'immeuble, extrêmement efficace énergétiquement est certifié BREEAM. Lors de ce projet, les architectes ont réussi à convaincre le client de préserver la structure existante qui était tout à fait saine. Le bâtiment présentait également de grands espaces non contraignants. C'est donc une rénovation lourde qui est choisie plutôt qu'une démolition et une construction neuve.

### Réemploi

Le client s'est montré soucieux de l'écologie et tout à fait ouvert au réemploi des matériaux existants. Rotor n'avait pas de demande pour les matériaux que présentait HD54, le bureau Architectes Associés a alors fait jouer ses relations pour les réemployer. Les doubles vitrages existants ont trouvé une nouvelle vie dans des serres à Bruxelles, les luminaires, meubles et cloisons ont été repris par Recyk-Ecopole. La brique a été démontée, et dirigée vers des filières de réemploi.

## Façades



Figures 124 et 125 : Façades, mosaïque de verre.

L'enveloppe existante a, comme dit plus haut, été démontée. Le voile de béton a dû être percé pour amener plus de lumière, ce qui a coûté très cher. La nouvelle façade consiste en des modules préfabriqués qui viennent comme dans les autres projets s'ancrer dans la structure existante. Depuis l'extérieur jusque l'intérieur, une tôle métallique pare vapeur est placée sur l'ossature bois qui contient de la laine de roche. Du mortier et mosaïque de verre sont placés sur des panneaux Fibro ciment. Le projet ne présente qu'une barrière étanche à l'air ce qui est une amélioration par rapport aux premiers projets.

Figures 25 et 26 : Modules.



Figures 126 et 127 : Modules en atelier puis sur la façade.

Sources : toutes les images des projets d'Architectes Associés proviennent de l'entrevue avec Sabine Lériveau ou de Architectes Associés, 2018.

## Point de vue critique

Ce qui est surtout intéressant dans ce projet, c'est que c'est le premier où Architectes Associés arrive à réemployer les matériaux. Le réemploi des matériaux a pu se faire grâce au client ouvert d'esprit qui était désireux de faire un geste pour l'environnement et grâce aux relations du bureau.

## 1.3 Bureau de Delftech (BiermanHenket, 2001, Pays-Bas)

### En quelques mots

Nom	Bureau de Delftech
Implantation	Delftechpark 12, 2628 XH Delft, Pays-Bas.
Fonction	Bureaux
Date	1999-2001
Surface	/
Client	ABT BV
Architectes	BiermanHenket
Budget	/

### Présentation

Ce projet d'immeuble de bureaux prend place dans le parc Delftech. Selon l'architecte, Bierman Henket, ce bâtiment expérimental a pour objectif de « contribuer à la recherche d'une solution pour la durabilité intégrale des bâtiments, définie ici comme suit: longue durée de vie, flexibilité (adaptation libre), faible consommation d'énergie (basse consommation) et efficacité industrielle (efficacité industrielle) ».



Figures 128 : Bâtiment de bureau.  
Sources : Auteur anonyme 6, 2019.

### Façade

Ce bâtiment neuf de bureaux présente une façade démontable et transformable. Celle-ci comporte une double peau en verre qui joue un rôle important au niveau énergétique car elle contribue aux besoins de chaud et de froid selon les saisons. La structure a été conçue à l'aide de pièces préfabriquées aux dimensions standards : des poutres préfabriquées en béton. Des pans de façade pourront être rajoutés au rez-de-chaussée afin de fermer cet étage de parking et de le transformer en bureaux.



Figures 129 et 130 : Façades.  
Sources : Auteur anonyme 6, 2019.

### **Point de vue critique**

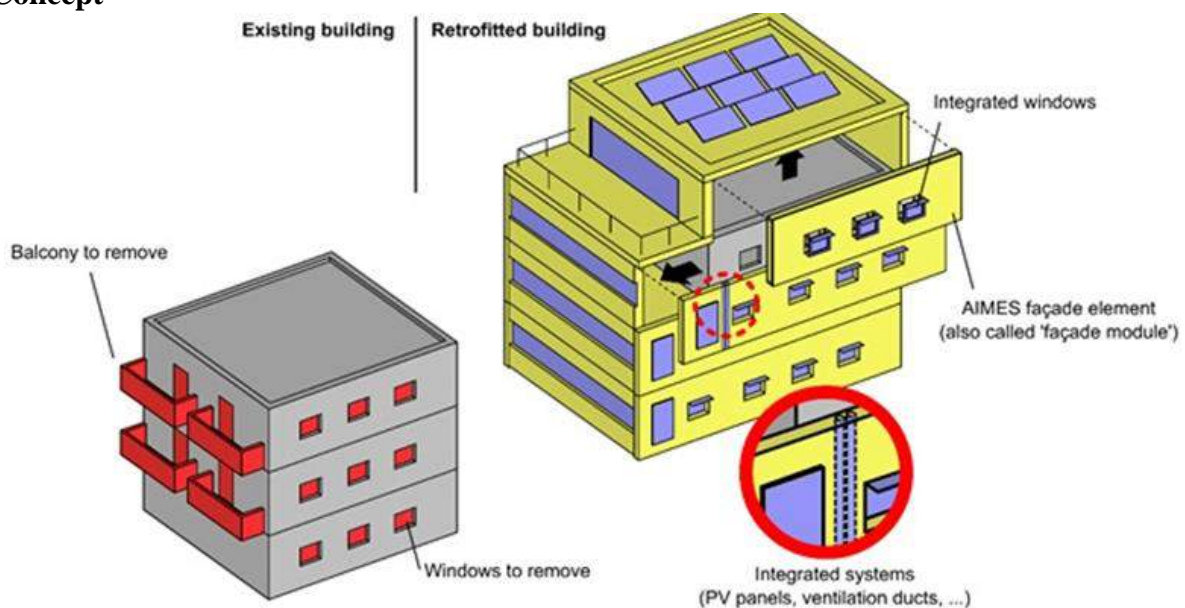
Bien que la double peau soit intéressante et effectivement démontable, son verre et son acier sont difficilement réemployables et souvent uniquement recyclés. De plus, elle rend le changement des modules compliqué à effectuer. L'utilisation d'une telle quantité d'acier, matériau dont la production est très énergivore, est contraire aux critères du zéro déchet. Malheureusement, peu d'informations et de détails techniques étaient disponibles sur le projet.

## 1.4 Système AIM-ES (Architectural Industrialised Multifunctional Envelope systems)

### 2.5 En quelques mots

Nom	AIM-ES (Architectural Industrialised Multifunctional Envelope systems)
Implantation	/
Fonction	Système d'enveloppe pour ensembles de logements
Date	/
Surface	/
Client	/
Architectes	
Budget	/

### Concept



Figures 131 : Système AIM-ES.

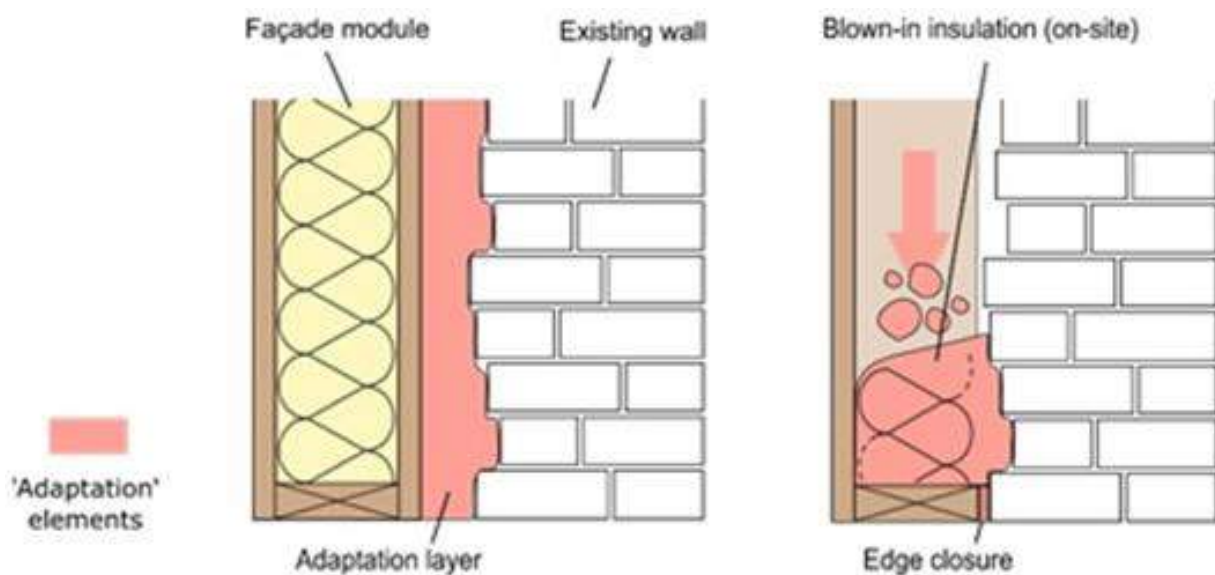
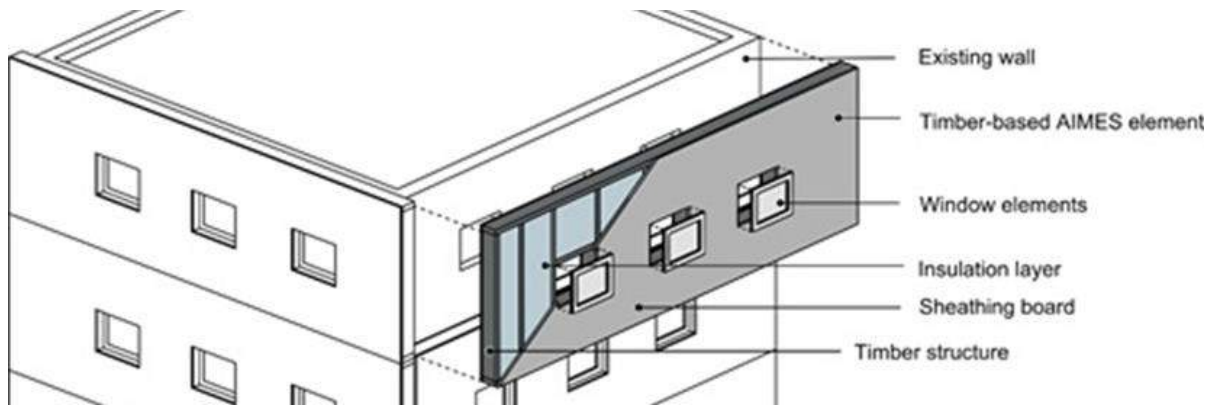
Les systèmes d'enveloppes industrialisées AIM-ES visent à réhabiliter et agrandir des ensembles de logements en ville. La réalisation de ces modules est rendue possible grâce à l'évolution de l'industrialisation et des machines contrôlées par ordinateurs. Cette méthode de rénovation demande une phase de conception et une phase d'investigation plus longues qu'une rénovation classique, ce qui engendre un coût plus élevé. Par conséquent, ce système est plus approprié pour les grands immeubles ou les immeubles présentant un grand degré de répétition.

Durant ces dernières décennies, ce système a été appliqué à une dizaine d'immeubles à travers l'Europe, mais cette technique innovante n'est pas répandue en Belgique.

### Façade

Les éléments préfabriqués AIM-ES enveloppent littéralement le bâtiment existant, ce qui raccourcit la durée du chantier et permet de moins nuire aux occupants qui peuvent rester dans la majeure partie du bâtiment. Des techniques de ventilation, chauffage, climatisation ainsi que des pare soleil sont intégrées dans les modules, qui sont par conséquent des modules appelés « multifonctionnels ». Ils peuvent s'adapter selon plusieurs paramètres qui sont « l'approche

structurale, la taille et l'orientation, la composition, le niveau de préfabrication, les caractéristiques de l'interface entre la nouvelle et l'ancienne enveloppe, et le niveau de technicité ». Les systèmes utilisant du bois sont très rapides à exécuter sur chantier, et de haute qualité et précision. Dans les exemples ci-dessous, les modules présentent depuis l'intérieur jusque l'extérieur : soit une couche pour réaliser l'interface entre le module et la façade existante puis un panneau de bois et l'isolation, soit directement l'isolation ; puis un panneau de bois.



Figures 132 et 133 : Système de façade préfabriqué.  
Sources des images : Bruxelles Retrofit XL, 2018.

### Point de vue critique

Cette méthode convient pour les bâtiments existants présentant des murs porteurs. Elle permet d'éviter la destruction du bâtiment et de lui fournir des performances thermiques plus élevées qu'en isolant par l'intérieur. Un autre point positif est l'occupation possible des locaux pendant le chantier. Cependant, cette méthode de rénovation intégrant la technique dans la façade est plus chère et ne convient pas à tous les types de bâtiment puisqu'elle est déconseillée dans le cas de structure poteau-poutre ou de dalle champignon. Il est également à noter que le fait de cacher un matériau comme la brique pose question. Dans une optique de réemploi ou les matériaux sont revalorisés, le fait d'avoir un matériau inutile et invisible est assez paradoxal.



## 1.5 Système constructif CIMEDE (Construction Industrielle de Maisons Evolutives, Durables, et Economiques)

### 1.5.1 Explication du système

#### En quelques mots

Nom	CIMEDE (Construction Industrielle de Maisons Evolutives, Durables, et Economiques)
Implantation	/
Fonction	Système constructif pour du logement
Date	2008-2019
Surface	/
Client	/
Architectes	Architectes et ingénieurs des Ateliers de l'Avenir
Budget	Environ 10% de plus qu'une construction traditionnelle

#### Concept

CIMEDE (Construction Industrielle de Maisons Evolutives, Durables, et Economiques) est un système constructif passif et préfabriqué en bois pour logements. Il a été mis au point par des architectes, ingénieurs, et technico-commerciaux du groupe Ateliers de l'Avenir.

#### Industrialisation des modules

Sa préfabrication offre une plus grande précision et donc une meilleure étanchéité à l'air et à l'eau, une diminution des prix et moins de ressources premières utilisées. Son industrialisation comporte plusieurs étapes : l'usinage des profilés, l'assemblage de la structure qui est remplie d'isolant et sa fermeture. Certains modules comportent des châssis. Les planchers et les techniques sont également industrialisés. Tout l'assemblage se fait aux Ateliers de l'Avenir qui a mis en place un travail adapté pour des personnes atteintes de surdité. L'usine fonctionne grâce à une chaudière à bois brûlant les déchets de bois de l'usine et des panneaux solaires. Celle-ci a été construite de manière démontable en à peine quelques jours.



Figure 134 : modules préfabriqués  
Source : Ateliers de l'Avenir, 2018.

#### Standardisation du système

Comme expliqué dans les pistes d'action, la standardisation permet d'avoir une offre plus stable dans le temps, et des pièces disponibles en cas de dommage. De plus, une seule personne est responsable en cas de problème.

## **Chantier**

Ce système préfabriqué offre une durée de chantier plus courte avec moins d'interventions et d'imprévus. Le bâtiment est rapidement protégé de l'eau, ce qui est conseillé pour le bois. Bien que des bonnes conditions climatiques soient préférables, les intempéries ne retardent pas le chantier. Des monteurs agréés les mettent en place et réalisent les raccords entre les éléments, essentiels pour une bonne étanchéité à l'air. Le chantier d'une maison avec les panneaux CIMEDE peut être terminé en 3 semaines avec 3-4 ouvriers à peine.

## **Flexibilité et évolutivité**

Il existe plusieurs types de bâtiments CIMEDE et ses cloisons sont amovibles. Un second projet, CIMEDE 2 est en cours de recherche et vise à améliorer CIMEDE 1. Il a pour objectif d'être plus flexible, et pourra changer de taille selon la demande de la famille. Il pourra également être décliné sous formes d'appartement dans des immeubles de logements, de crèches, d'écoles ou de bureaux. Il serait par exemple possible de transformer facilement deux appartements deux chambres en un appartement cinq chambres.

## **Point de vue critique :**

Un point extrêmement intéressant du projet, outre la préfabrication qui permet une plus grande précision et une meilleure étanchéité ainsi que la démontabilité, est la standardisation des éléments. Un point plus négatif est le manque d'exemples d'applications du système et le fait qu'il ne s'applique pour le moment qu'à des habitations. Je ne suis pas encore parvenue à trouver le détail constructif de la jonction des éléments entre eux. Un point intéressant du projet est le retour économique. Selon Gaëtan Duyckaerts, qui dirige la transformation de l'unité de production des Ateliers de l'Avenir où sont fabriqués les modules, le système Cimedede coûte environ 10 % de plus qu'un système de construction traditionnel.

## 1.5.2 Cuesmes (Baneton Garrino, 2019, Mons)

### En quelques mots

Nom	Cuesmes
Implantation	Mons
Fonction	Logements sociaux
Date	2017-2019
Surface	/
Client	/
Architectes	Baneton Garrino
Budget	/

### Concept

Le projet consiste en la rénovation de l'enveloppe de 7 bâtiments comprenant 119 logements.



Figure 135 : Bâtiment pendant le chantier avant la pose du revêtement.

### Façade

La façade est réalisée à l'aide de 493 caissons préfabriqués. Seuls 8 types de caissons ont été créés. Ceux-ci viennent se placer entre colonnes et se fixent aux colonnes et aux dalles. Le chantier se réalise sur le bâtiment occupé avec un nombre peu élevé d'ouvrier.



Figure 136 et 137 : Pose des modules.

### Point de vue critique

Ce qui est surtout intéressant dans ce projet, c'est la manière dont sont fixés les modules entre colonnes. Les pattes de fixations des modules sont bien visibles sur les photos. Le bâtiment est resté occupé pendant les travaux, ce qui a diminué les coûts. Le fait de placer les modules entre colonnes pose question par rapport au degré de préfabrication étant donné qu'un raccord d'isolation doit être fait derrière les colonnes. Cette manière de faire engendre également une grande quantité de membranes pétrochimiques sont utilisées devant les colonnes afin de réaliser la jonction entre les modules.

### 1.5.3 Tournesols (Alain Dirix, 2016, Liège)

#### En quelques mots

Nom	Tournesols
Implantation	Liège
Fonction	Hôpital
Date	2016
Surface	/
Client	/
Architectes	Alain Dirix
Budget	/

Cet ancien hôpital de 1500 mètres carrés a été rénové et partiellement transformé en maison de repos et de soins et en un centre d'accueil de jour.



Figure 138 : Bâtiment pendant le chantier.

#### Façade

La façade est réalisée à l'aide de 240 caissons bois préfabriqués qui se divisent en 7 types différents. 30 caissons par jour peuvent être posés pour un chantier d'environ une semaine. La jonction entre les modules se fait avec un tape extérieur et une membrane intérieure.



Figure 139 et 140 : Modules à l'arrivée puis sur la structure.

#### Point de vue critique

Le temps de pose est intéressant, en sachant que 30 modules peuvent être posés par jour il est possible d'estimer le temps d'un chantier qui utiliserait des caissons préfabriqués. Depuis l'extérieur, le revêtement en briques ne permet pas de se douter de l'usage de caissons préfabriqués.

### 1.5.4 Ekla (B2AI, 2019, Bruxelles)

Cette tour neuve de logements de 9000 mètres carrés comprenant se situe à Bruxelles.

Nom	Ekla
Implantation	Rue E. Bonehill, Rue P. Van Humbeek, Molenbeek - Bruxelles
Fonction	Logements
Date	2017-2019
Surface	26.500 m <sup>2</sup>
Client	Re-Vive nv - Gand / Inclusio - Bruxelles
Architectes	B2Ai, Establis + Boydens + DeFonseca
Budget	/

#### Façade

La façade est réalisée à l'aide de 600 caissons qui portent d'étage en étage. Elle utilise un système de caisson ou la membrane placée sur l'ossature bois vient se replier sur le béton. Un tape est ajouté à la jonction entre les modules.

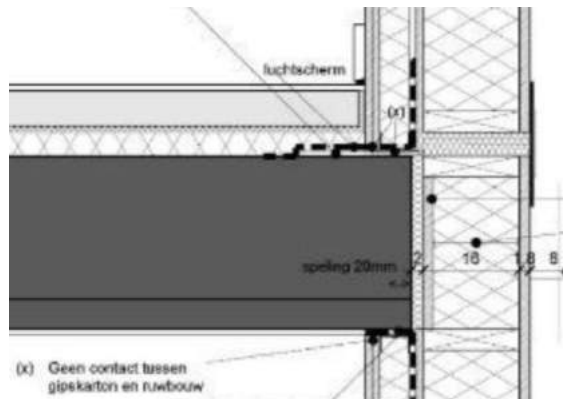


Figure 141 à 145 : Jonctions et attaches des modules à la structure.  
Source des images : Ateliers de l'Avenir, 2018 et entrevue de Gaëtan Duyckaerts.

#### Point de vue critique

Dans ce projet, une membrane recouvre l'entièreté de la façade. Il n'est donc pas du tout zéro déchet. L'attache des modules est intéressante.

## 1.6 Cité Internationale de Cuques (CANAL, 2015, Aix-en-Provence)

### En quelques mots

Nom	Cité Internationale de Cuques
Implantation	Rue de Cuques 27, 13100 Aix-en-Provence, France.
Fonction	Logements
Date	2015
Surface	8400m <sup>2</sup>
Client	CROUS AIX MARSEILLE
Architectes	Canal
Budget	12 900 000 euros

### Présentation

Ces trois bâtiments comprenant 350 logements ont été conçus par le bureau Canal dirigé par Patrick Rubin, en collaboration avec VINCI Construction France. Cette résidence universitaire a été pensée en tenant compte des évolutions possibles des modes d'habiter dans le temps, des changements d'affectations et de la mutualisation des espaces.

L'objectif était de construire une « machine à habiter » avec une bonne qualité de vie et de la réversibilité. La préfabrication de certains espaces et de la façade permet ici répondre à une grande demande de logements en un temps très limité. Elle permet aussi des coûts peu élevés



Figure 146 : Cité internationale.

La structure du bâtiment est constituée de dalles de béton coulé tenant sur des poteaux agencés selon une trame de 3 sur 6 mètres. Ces dalles peuvent être percées sans être soutenues davantage structurellement et mesurent entre 12 et 14 mètres de profondeur afin de permettre plus de souplesse et de réversibilité. Selon l'architecte, ces profondeurs de plateaux libres permettent d'accueillir des étudiants mais également des seniors ou encore des bureaux avec des apports de lumières naturelles suffisants. La hauteur sous plafond est de 2,7 mètres.

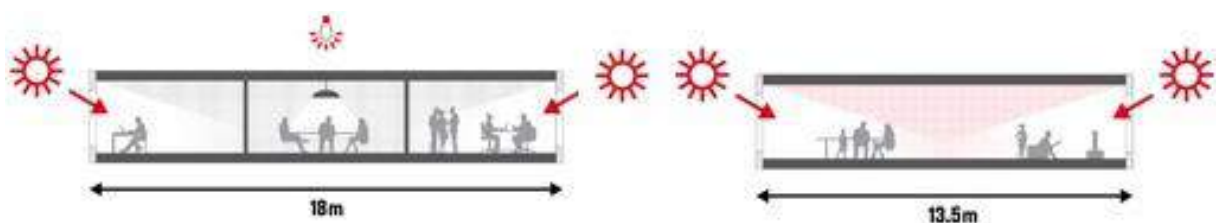


Figure 147 : Profondeur de 13 mètres.



Figure 148 : possibilité de logements.



Figure 149: possibilité de bureaux.

Dans ce cas-ci, même les salles d'eau, les rangements et les cuisines sont industrialisées et consistent un bloc préfabriqué. Ces blocs sont acheminés sur chantier et glissés sur les plateaux.

### Façades :

Les modules de façade préfabriqués non porteurs prennent place devant les dalles de béton. Ces caissons à ossature bois sont remplis d'isolants. L'enveloppe peut être facilement modifiée lors d'un changement d'affectation. Selon le bureau d'architecture, 90 pourcents des éléments peuvent être conservés en cas de transformation du bâtiment. Ces façades sont rendues moins monotones grâce à des balcons ou des loggias. Le système peut être utilisé avec une multitude de revêtements.

Selon Vinci Construction France, cette manière de construire coûterait 10% de moins « par rapport aux coûts pratiqués localement », mais également de diminuer la durée totale du projet de 40% « par rapport à une opération classique »<sup>40</sup>. Le coût de ce genre de bâtiment avec façade préfabriquée s'élève à 1 328 euros HT/m<sup>2</sup>, sans compter que le bâtiment est réversible,

<sup>40</sup> Jean-Paul Bourgneuf, directeur de l'habitat de Vinci Construction France, dans une interview pour Le Moniteur, <https://www.lemoniteur.fr/article/vinci-deploie-son-habitat-colonne.1411784>.

que la maintenance est aisée et que les façades permettent le remplacement et le réemploi de certains matériaux.

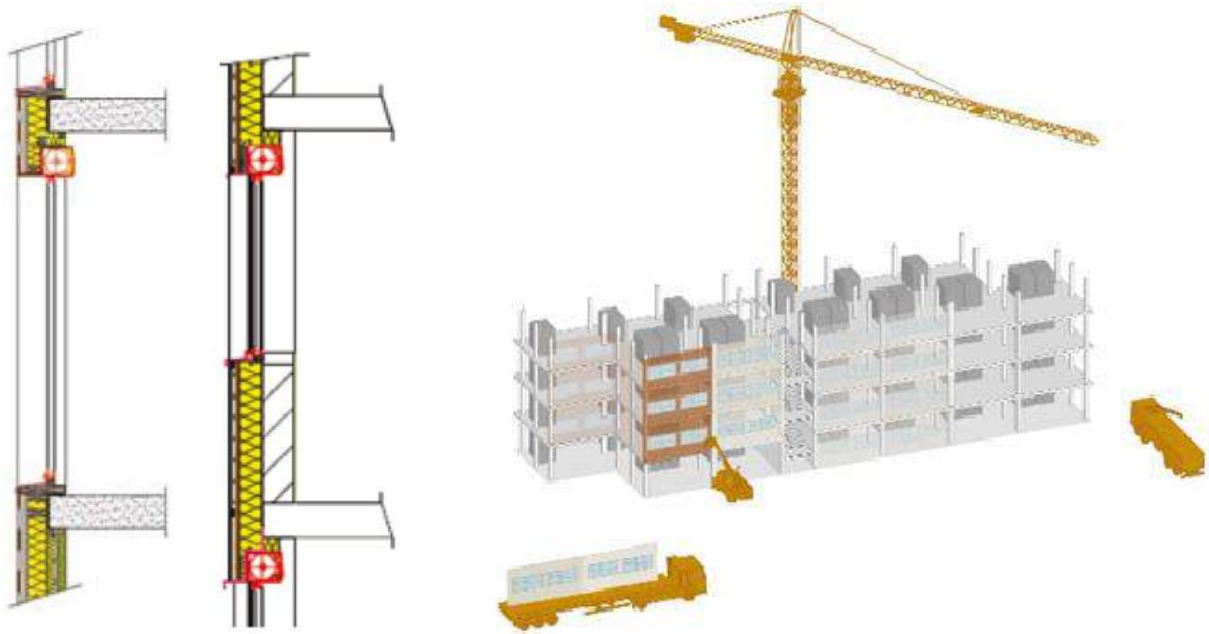


Figure 150 et 151 : coupe et chantier de la façade.  
Source des images: Vinci Construction et Canal, 2018.

### **Point de vue critique**

Si l'industrialisation des logements fait polémique, l'architecte Patrick Rubin défend l'idée que celle-ci peut permettre de loger des gens de manière quantitative mais également qualitative si elle est combinée à un souci de l'urbanisme ou encore du paysage. Le but premier n'est donc pas écologique, mais les façades n'en sont pas moins démontables et la conservation de 90 % des éléments de façade lors d'un changement d'affectation contribuent au zéro déchet. A nouveau, la préfabrication permet des coûts réduits et un temps de chantier court. Malheureusement, peu de détails et de documents techniques sont disponibles.

Un autre aspect intéressant du projet est la profondeur de plateaux de 12 mètres permettant une multitude d'affectations possibles et des évolutions de logements.



## 1.7 Modul’Air (CSTC, 2021, Bruxelles)

### En quelques mots

Nom	Modul’Air
Implantation	/
Fonction	Projet de recherche de modules de façade de logement
Date	2017-2021
Surface	/
Client	/
Architectes	CSTC
Budget	/

### Concept

Le projet de recherche Modul’Air a pour but de créer des modules de façade préfabriqués afin de rénover rapidement des immeubles vétustes de la seconde partie du 20<sup>ème</sup> siècle. Leur but est d’en améliorer les performances énergétiques, les systèmes de ventilation, et enfin le confort des habitants ainsi que leur santé.

### Façade

Les modules préfabriqués Modul’Air intégreront des systèmes de ventilation.

### Point de vue critique

Le projet de recherche étant encore en cours, je ne dispose pas encore d’énormément d’informations. Ce qui est extrêmement intéressant dans ce projet, c’est l’intégration des techniques de ventilation en façade, ainsi que le fait qu’ils rénovent des immeubles construits à partir des années 50.

## 2. Interviews

---

### Interview de Sabine Léribaux du bureau Architectes Associés

Sabine Léribaux, partenaire fondateur du bureau, a été enregistrée le 12 décembre 2018 avec son accord. Mes interventions sont en gras dans le texte.

- **Quelle expérience avez-vous avec la démontabilité ?**

- Nous n'avons pas encore essayé de démonter, ni Loi 227, ni Aéropolis, ni Monnoyer. Brussels Greenbizz qui utilise des caissons préfabriqués, a subi un incendie criminel pendant le chantier. On a donc dû enlever ce qui était brûlé, et enlever un peu aussi l'extérieur de la zone incendiée avant d'arriver au panneau complètement sain. On a expérimenté la démontabilité pour la première fois de cette manière-là. Lorsqu'on a conçu Loi 227 puis Aéropolis, on ne s'est pas posé la question de la démontabilité, tant cela nous paraissait évident. Dans Loi 227, les deux cadres se clipsent ensemble. Une pièce EPDM est placée entre les deux et c'est la force mécanique lorsque les deux modules sont assemblés qui assure l'étanchéité à l'air. Il y a deux zones d'étanchéité à l'air, car à l'époque nous étions forts angoissés. Mais allez voir les détails de HD54 qui est notre dernier projet et que l'on termine maintenant. Il n'y a plus qu'une barrière étanche à l'air car ce n'était pas notre premier projet et nous étions moins angoissés. Beaucoup de nos projets peuvent être compris par le prisme de l'angoisse. Construire pour seulement 20 ou 30 me paraît stupide. Il est angoissant de se dire qu'on va construire quelque chose qui au court de notre propre vie va être dépassé. Cela pose question sur sa propre durée de vie. HD54 date de la fin des années 80 et était complètement obsolète. Donc cela pose question de la pérennité, durabilité des choses, et c'est une question qui nous taraude beaucoup. Sur Loi 227, ayant fait le théâtre national avec des éléments préfabriqués qui se clipsent les uns dans les autres et qui offre de par les normes une étanchéité à l'air trois fois supérieure à ce qui était demandé pour un bâtiment passif, c'est assez évident. On prend le même système constructif adapté à ce que l'on cherche avec l'étanchéité à l'air qui est déjà connue des bureaux d'étude, des façadiers, des groupes qui contrôlent tout ça. Donc nous avons pris le même système en remplaçant l'aluminium par du bois. Après nous avons vu Kyotech pour voir s'ils étaient intéressés de développer le projet et ils nous ont directement dit qu'ils prenaient. Il y a vraiment une évidence constructive qui vient du fait que l'étanchéité à l'eau, et tout le système constructif est déjà adapté. Maintenant cette réflexion sur les façades préfabriquées en bois porte sur la largeur des modules.

Pour Loi 227, des modules de 1,6m, pour Aéropolis des modules de 0,9m, on va être malin sur Elia, on va mettre un module de 1,35m. Pour Monnoyer, des modules de 5,5m et pour Greenbizz : 10m de long. Tout ça pour dire que l'on a très vite compris que l'on allait dans la bonne direction au niveau de l'industrie. Ce qui était important également pour la pérennité d'un élément. Il faut que dans 50 ou 60 ans il y ait encore une personne capable de démonter ce qu'on a construit. Il faut que l'architecte soit un tout petit peu humble, peut être que dans 20 ou 30 ans nos projets seront démontés.

Au niveau de la démontabilité, il est important de comprendre comment marche ce détail d'étanchéité à l'air. Pour la façade théâtre national il y a des pièces mâles et femelles qui s'emboîtent les unes dans les autres. Si à un moment donné cette façade est complètement terminée et que je veux arracher un module pour le remplacer par un autre, ce n'est pas si évident que ça. Bien que ce soit un joint creux ou un joint ouvert, je dois vraiment passer avec une scie ou carrément un autre outil avec force à travers. Autant tous les éléments connexes sont faciles

à démonter et à remonter, autant ceci est difficile à démonter étant donné que nous avons par définition créé l'étanchéité à l'air par le serrage mécanique de ce joint EPDM. Par conséquent la démontabilité reste limitée. Démonter toute la façade ou tout un étage est beaucoup plus facile que de démonter un module.

- **Vous n'avez pas voulu concevoir vos façades de manière plus démontable, que chaque module puisse être démonté individuellement ?**

- Non, on ne s'est jamais dit qu'on allait devoir retirer module par module. Le jour où on a voulu que notre bureau puisse se changer en logement comme dans Aéropolis, cela semblait alors important de pouvoir enlever des éléments afin d'y mettre des loggias ou des terrasses pour les appartements. Dans ce projet ; la poutre en béton, la structure, est conçue pour rendre le bâtiment plus démontable et pour pouvoir y accrocher les modules. Le jour où on transforme du bureau en logement c'est un chantier lourd donc ce n'est pas grave si on passe à travers les éléments avec une scie et si ceux-ci ne sont pas facilement démontables. Mais carrément de vouloir démonter et remonter sans passer par un chantier lourd, on n'y avait jamais pensé. On y a pensé quand Greenbizz a brûlé et qu'on a dû remplacer les pièces. Ce que je voudrais dire quand même c'est que les éléments que vous voyez ici qui sont des éléments verticaux sont des éléments de rejets d'eau. Mais comme cet élément doit être continu horizontalement sur toute la façade, il est plus facile de couper sur un joint horizontal que sur un joint vertical. Donc c'est quand même plus facile en termes de démontabilité de carrément retirer un morceau d'étage pour y mettre par exemple une terrasse ou quelque chose comme ça.

Greenbizz est fait autrement. Voir détail. Dans Greenbizz, ce sont des caissons, comme dans Elia, et ça c'est important. Dans nos deux premiers projets, Loi 227 et Aéropolis, il s'agit de façade cadre. Par définition, une façade cadre est un cadre préfabriqué, qu'ils fassent 90 cm, 1,6 mètres ou 5,4 mètres de large, et qui se clipsent l'un dans l'autre comme ceci (voir détail). L'étanchéité à l'air est donc créée par ce clipsage qui se fait dans un certain ordre de montage. Moi je suis pour l'étanchéité à l'air réalisée de cette façon-là parce que c'est beaucoup plus pérenne. Très vite on s'est rendu compte que cette technique-ci était plus chère et accessible uniquement pour certains marchés, que le système de caisson bois.

- **Pourquoi le système de cadre est-il plus cher que le système de caisson bois ?**

- Parce que le cadre demande un fraisage, demande des joints EPDM, demande un type de montage plus évolué. Tandis que le système de caisson, fabriqué par un fabricant avec des caisses de bois rempli d'un isolant, demande un monteur qualifié pour venir placer ces éléments les uns à côté des autres et puis mettre ce que tous les entrepreneurs adorent : du tape. Alors, il ne faut pas être excessivement malin pour se rendre compte qu'un joint EPDM, double dans ce cas-ci, à l'abri des intempéries qui va à peine bouger, est bien plus durable qu'un tape. Puisque devant ce tape une finition intérieure va être placée, cela va devenir fragile, devant je vais mettre un bardage, donc tout devient fragile. Les caissons préfabriqués avec le tape posent réellement question du point de vue de la durabilité.

- **Pourquoi avez-vous tout de même réalisé des caissons pour Greenbizz si cela est moins durable que les cadres ?**

- Greenbizz était tellement complexe, il s'agissait d'un projet public avec un budget plus réduit que Elia ou Aéropolis, donc nous avons dû accepter les caissons avec le tape pour ouvrir le marché. Nous avons aussi eu une volonté, nous étions en train de faire le chantier de Elia et quand on a fait le concours de Greenbizz, en faisant Elia où les prix avaient explosés pas seulement à cause de la technique de façade cadre mais parce que seul Kyotech avait les

compétences pour le réaliser en Belgique à ce moment-là, on s'est dit « ça ne va pas le faire, il faut qu'on ouvre le marché ». Et donc puisqu'il s'agissait d'un projet public l'appel d'offre était public donc on a eu plusieurs autres types de propositions de façades, dont des façades caissons, qui étaient dans le budget et que nous avons accepté. Il y a chez nous une volonté de partage de savoir-faire. C'était parce que l'on s'est rendu compte que l'on ne travaille pas juste pour son salaire à la fin du mois mais aussi parce que si l'on a quelque chose d'intéressant il faut le partager. Donc on s'est dit qu'on allait partager notre savoir sur ces façades bois pour essayer de voir ce que l'on peut faire avec les façades caissons. Pour moi cela pose vraiment le problème de la durabilité au niveau de la tenue dans le temps. Parce qu'on a essayé de travailler avec de la cellulose -comme nous sommes des angoissés, j'ai demandé des tests de densité de la cellulose pendant le chantier- et je me suis rendu compte très vite que c'était mauvais à différents endroits, et l'entrepreneur, tout aussi peu rassuré que moi, a pour bien faire refait des trous en plus des trous pour insuffler la cellulose, recouverts de sparadraps, puis on s'est retrouvés avec des trous dans tous nos panneaux. Notre façade était comme criblée de balle. L'entrepreneur est devenu spécialiste des tapes, de tous les tapes possibles et imaginables, mais un tape reste un tape. Ce n'est pas la même chose qu'un EPDM qui est un gros morceau de caoutchouc hyper stable à l'abris des intempéries et des changements de température, etc. Ceci dit, lorsqu'il y a eu l'incendie de Greenbiz et qu'il a fallu retirer ce qui était brûlé, ils ont juste pris une grosse scie à bois qu'ils ont inséré dans la fente, et ils ont scié pour retirer ce qui était cramé. C'était magique. Et les nouveaux panneaux ont juste été glissés aux bons endroits, ils ont remis du tape et c'était terminé.

- **Le caisson est donc bien plus facile au niveau du démontage.**
- Exactement. Et donc votre sujet est intéressant car je capte bien que la démontabilité fait partie de la donne au niveau de la durabilité, et je ne veux pas dire qu'un façadier n'est pas intéressé par le système de caisson parce qu'Elia est un système de caisson amélioré. Voir détail. Côté intérieur, où se trouve l'étanchéité à l'air, je voulais qu'il me montre les endroits où étanchéité à l'air et tape se superposent car c'était extrêmement fragile, et ce qu'il s'est passé sur chantier c'est que quand ces éléments de 5,4 mètres sont arrivés sur chantier et qu'on a essayé de les mettre aux bons endroits au mm près, l'étanchéité à l'air s'est déchirée. Donc quand on a voulu replier ces étanchéités pour les coller comme sur mon plan c'était tout déchiré, donc ils ont pris leurs bombes de silicone. Celui-ci doit être entretenu une fois par an, or j'avais prévu toute une finition intérieure qui venait le recouvrir, donc personne ne va l'entretenir.
- **Qu'avez-vous fait alors ?**
- J'ai accepté ce système. Ce système de tenons et mortaises qui est probablement déjà étanche à l'air puisque Elia a la façade est très facile, très compacte, avec peu de décrochage, donc à mon avis, on aurait réussi les tests d'étanchéité à l'air sans tape. Avec tape on était super bons. Cependant le système de tenons et mortaises rend le fait de scier encore plus difficile, et donc rend plus difficile le démontage. On doit y aller à l'arrache. Parler de démontabilité, c'est très terre à terre. Il faut vraiment se mettre à la place de l'entreprise qui va démonter. Dans le détail de HD54 on doit bien qu'on va devoir y aller à l'arrache. Donc nous n'avons jamais pensé à la démontabilité plus loin qu'un étage à la fois.
- **Pour revenir à votre façade en cellulose en vrac, pourquoi ne pas avoir mis des matelas de cellulose ?**
- C'est bien ce qu'on s'est dit après ! Tout à fait, c'est exactement ça. On a eu tous les experts qui sont venus voir comment Greenbizz avait réagi à l'incendie. Il y a des gens qui ont tapé dans la

façade avec un bulle, la cellulose tombait déjà quand ils ont mis le feu au bas. Comme la cellulose comporte certains vides le feu s'est propagé et ce ne serait pas arrivé si nous n'avions pas mis les matelas. Nous avons donc appris plein de choses.

Je n'aime vraiment pas le tape. Si on prend ce système de façade cadre, et pas caisson comme Elia ou Greenbizz, le chantier est d'une netteté incroyable sans ces tapes.

Je reste persuadée que la démontabilité de toute une façade dans 30, 40 ou 50 ans, à cette échelle du temps-là, c'est un système de façade cadre avec joints EPDM sur lequel je parierais.

- **Mais dans 30,40 ou 50 ans les techniques auront sans doute changé. Peut-on envisager garder une façade si longtemps ?**

- Concernant les techniques de façades, je ne vois pas comment une façade bien isolée en matériaux durables peut mal vieillir. D'autant plus que si je prends nos projets actuels, les façades cadres ont des finitions intérieures et extérieures démontables donc on pourrait récupérer tout le bois et l'isolant de manière impeccable.

- **Et dans le cas d'un changement d'affectation ou de propriétaire par exemple ?**

- La finition extérieure est totalement démontable. L'immense avantage d'Aéropolis mais également de Loi 227 est que le pare pluie est toujours dans le même plan, regarder dans cette coupe. Si on veut l'enlever et enlever le bardage extérieur, c'est un plan que l'on enlève. On peut tout enlever couche par couche. Les châssis ont leur plan, leur strate également. C'est plus important de construire avec des couches indépendantes que de construire avec tel type de joint. La conception par strate, sans toucher à l'étanchéité à l'air.

Sur Aéropolis, les panneaux acoustiques sont devant l'étanchéité à l'air (en trait rose). Sur Elia, la finition est plus grosse, et on a pensé à mettre des techniques dans cette épaisseur-là. Si on change l'affectation, l'apport de lumière doit être pris en compte pour pouvoir accueillir le plus possible de fonctions. Là va se poser la question de « est-ce plus intéressant de modifier l'existant ou de tout enlever pour faire autre chose ? ». Comme tout est léger et que tous les éléments sont fixés mécaniquement, cela assure la démontabilité et le réemploi possible. Dans greenbizz, toute cette colle, ce tape, ce silicone, rend le réemploi plus compliqué. Sur HD54 on a voulu démonter un maximum de matériaux et on a bien vu que plus c'était mécanique plus c'était réemployable. Votre sujet est bien, parce qu'il est vraiment complexe quand j'y pense.

- **Si on fait un bâtiment avec pour objectif qu'il puisse changer fréquemment d'affectation, est-ce que c'est mieux caisson ou est-ce mieux cadre ?**

- Moi je pense que c'est mieux cadre. Parce que ce tape ne peut pas durer 50 ans. Les fixations mécaniques sont meilleures.

- **Est-ce que vous envisageriez de faire une façade sans EPDM, une façade zéro déchet dont tous les éléments seraient réemployables ?**

- C'est tentant, en fait je ne me suis jamais posé la question de la recyclabilité de l'EPDM. Je ne sais pas quelle est sa valeur de recyclage. Peut-être qu'il faudrait utiliser le système de tenons et mortaise. Celui-ci est simple. Mais c'est une technique utilisée depuis des siècles. Donc si vous voulez aller vers du zéro déchet je pense que c'est le mieux. Sur Aéropolis on a un système de tenons et mortaise, mais pas sur Loi 227. Et sur Aéropolis il n'y a pas d'étanchéité EPDM, elle se fait par l'assemblage. Les deux pièces sont fraisées en U. Cela dépend beaucoup du bois

choisi, de l'hygrométrie, de sa dilatation car lors d'une période sèche il pourrait il y avoir des vides et donc l'étanchéité à l'air ne serait plus assurée. Il faut vraiment réfléchir quant à la qualité du bois. Pour garder un prix bas sur Loi 227 c'était un simple lamellé collé, mais quand vous regardez n'importe quel lamellé collé de mauvaise qualité il y a des nœuds, et ces nœuds ont tendance à sauter, donc on avait très peur que l'eau stagne dans ces nœuds. Pour finir, dans Aéropolis, on a pris du bois belge, pin d'Oregon ?? qui a été séché d'une certaine manière pour qu'il ait la densité nécessaire pour un élément structurel de façade. Donc peut être que ce genre de bois bouge moins qu'un lamellé collé comme Loi 227. Sur Elia et sur Loi 227 on a creusé le LBL, le SVL, c'est du structural veneer lumber, des couches de 3mm collées et pressées ensembles, là ça bouche encore moins. Mais travailler avec un système de tenons et mortaise c'est logique d'aller prendre du matériau bois, tant des cadres que des pièces enchâssées pour faire l'étanchéité à l'air. Mais c'est une piste intéressante. Mais au niveau de la démontabilité c'est plus difficile de passer à travers des éléments clipsés entre eux avec une scie qu'à travers un élément en EPDM puisque là on scie pratiquement dans le vide puisque les deux caissons sont simplement collés entre eux.

- **Essayez-vous vraiment d'intégrer la démontabilité face au client ?**

- La démontabilité de toute la façade oui, c'est la raison principale pour laquelle on a développé ce système. Peut-être par humilité dans le sens où Marc parle souvent que l'on pourrait entrer un permis pour une fonction limitée dans le temps. Je peux construire un logement pour 30 ans, mais après la structure servira pour un hôtel. La structure est vraiment pensée pour qu'on puisse changer de fonction beaucoup plus facilement. Et ce serait impossible de changer de fonction si on ne sait pas démonter ces façades légères. C'est frappant si vous regardez les façades de Greenbizz ses panneaux sont mis en place tellement facilement. Là je rejoins l'avis que ce sont les façades caissons qui sont beaucoup plus démontables que les cadres. C'est évident que un jour plus facilement des façades préfabriquées de grandes tailles peuvent être démontées. Auprès, cela dépend du client. Certains clients gardent le bâtiment dans leur portefeuille et captent qu'un bâtiment après 30 ans doit pouvoir changer de fonction. Donc certains nous demandent vraiment de réfléchir au changement de fonction possible. D'abord la démontabilité de façade est le premier truc évident et facile, parce que réfléchir des structures et des techniques et des distributions de techniques qui permettent plusieurs fonctions différentes, est bien plus complexe que d'imaginer une façade préfabriquée. Nous on imagine une façade préfabriquée, puis c'est le façadier qui nous aide, on n'a pas grand-chose à faire. Une fois qu'on a eu l'idée, Kyotech est parti avec son idée et l'a développée. Au niveau de la conception, l'architecte est plus qualifié pour penser à des espaces transformables.

- **Est-ce que dans Loi 227 les espaces sont très flexibles à l'intérieur ?**

- Non. Dans Loi 227, c'était il y a 15 ans, on était tout content que cette façade puisse changer dans 30 ans et peut être pour changer de fonction mais ce n'était pas une priorité. On y a pensé seulement 4 ans après. Ceci dit, on vient de faire HD54, HD54 c'était un bâtiment habillé de briques avant, ce n'est pas la mort de démonter de la brique.

- **Mais cela demande beaucoup de main-d'œuvre.**

- Cela demande beaucoup de main d'œuvre, mais ce qui a surtout posé beaucoup de problèmes dans HD54 c'était le manque de lumière du jour parce qu'il y avait un voile de béton en façade, qui était percé d'une certaine manière et pour changer ces percements cela nous a coûté un pont. La conception de la peau structurelle de la façade avec une façade portante et une poutre de rive qui permet d'accrocher les façades portantes qui sont beaucoup plus modulables et changeables.

Parce que nous avons évolué depuis 10 ans, le fait de construire démontable se ressent dans le dessin dès le début du projet. On conçoit de plus en plus main dans la main avec les ingénieurs car on se rend compte que tous ces métiers ont besoin d'interférer pour construire quelque chose de pérenne, de durable.

- **Dans Loi 227, la démontabilité découle surtout du fait que le bâtiment devait rester occupé pendant les travaux. Dans Aéropolis, quels sont les facteurs qui vous ont poussé à construire démontable ?**
- Aéropolis c'est trois modules de 90cm. Il y a un module complètement vitré, un plein et un 60cm vitré et 30 cm plein. On a essayé de préfabriquer toute la façade avec ces trois modules. La quantité de fenêtres ici, 90 cm plus 60 cm, correspond à 20% de la surface de la pièce derrière, ce qui est la norme d'habitabilité pour du logement en Belgique, alors que l'on a un bureau, ou il n'y a pas de norme. Donc nous nous sommes déjà dit que nous allions imaginer un système de façade pouvant accueillir du logement. On s'est dit après que l'on allait peut-être devoir mettre des terrasses et des choses comme ça, et donc on a mis une poutre de rive. Mais vous donner une réponse claire sur les raisons qui nous ont poussé à penser la démontabilité c'est excessivement difficile. Ce n'était pas une question de réemploi. Notre obsession pour le recyclage elle est beaucoup plus récente, HD54 est notre premier bâtiment à plus grande échelle ou les doubles vitrages ont été récupérés, les cloisons intérieures ont été récupérées, les briques ont été récupérées...
- **Vous essayez vraiment d'intégrer le réemploi dans vos projets depuis peu ?**
- Maintenant oui, on y pensait de manière théorique depuis des années mais nous on teste en construisant, nous ne sommes pas des grands théoriciens. Quand quelque chose est convainquant, nous testons à grande échelle parce que nos bâtiments sont à grande échelle, et on n'en a pas 15 non plus des projets. Donc le recyclage et le réemploi n'étaient pas une donnée dans Aéropolis. Mais je reste persuadée que les façades cadre avec leur système de strate, sont plus facilement modifiables.
- **Arrivez-vous toujours à réemployer une partie des matériaux depuis ces dernières années ?**
- Du tout.
- **Cela ne se justifie pas économiquement ?**
- Le réemploi dans le cas d'une rénovation, il y a 4 ans, Matexi nous a demandé de rénover la tour Léopold qui est un immeuble de bureaux avec une façade architectonique en béton. Notre première réaction était de proposer au client des solutions de réemploi pour les matériaux que l'on allait enlever comme les châssis, les vitrages, etc. Matexi nous a ri au nez. Il n'a rien de très durable, ils ne sont que dans l'image et dans la vente, donc cette porte-là était d'office close. Sur HD54, que l'on a commencé peu de temps après Léopold, on a proposé le réemploi au client qui était Axa et eux ont été très intéressés. Cela dépend vraiment du client. Ceci-dit, Rotor n'avait pas de demande pour ce que HD54 avait à offrir et on a donc dû utiliser notre réseau pour réemployer nos doubles vitrages, cloisons, etc. Nous nous sommes occupés nous même du réemploi. Dans le cas de bâtiment neufs, là on réfléchit vraiment à essayer de monter le projet de manière mécanique mais au final le budget cale et on finit par utiliser le béton préfabriqué également pour une question d'inertie thermique quand on travaille en passif.

- **Vous utilisez également le béton pour une question de durabilité je suppose, étant donné que vous avez pour ambition de préserver la structure au fil du temps ?**
- Oui, mais on capte bien que la structure bois, avec des dalles et des murs bois, est pour nous une prochaine grande piste à grande échelle.
- **Donc si vous vouliez franchir une étape là maintenant et améliorer votre manière de faire, vous voudriez passer d'une structure béton à une structure bois ?**
- Entre autres oui. Et autre chose à laquelle nous avons commencé à réfléchir il y a 10 ans, et Kyotech est parti avec l'idée, c'est d'intégrer la technique dans la façade. Mais nous oscillons entre deux points de vue. D'habitude, on essaye de garder toutes les couches séparées, chacun sa strate pour que l'on puisse démonter. Et là nous réfléchissons à intégrer tous les éléments de techniques dans une strate, la plus épaisse, et on se demande si c'est vraiment malin.
- **Des techniques de ventilation ?**
- Des techniques de ventilation et ou de refroidissement. Je pense que ça existe, Ingenoven l'a fait. C'est peut-être tout à fait une piste, car ils ont la même durée de vie. Et j'ai papoté avec l'architecte Eberlée qui a donné une conférence sur ses projets et lui il essaye vraiment de fonctionner non pas par strate de matériaux mais par strate de durée de vie des matériaux. Et ça je trouve ça super intéressant. Intuitivement, intégrer les techniques dans la façade cela me semble vraiment un bon choix.
- **Par exemple dans Loi 227, avez-vous dû interrompre l'activité dans le bâtiment au moment de l'intégration des techniques dans le bâtiment ? Pourquoi ne pas avoir directement intégré la technique dans la façade ?**
- Tout à fait, dans Loi 227, la réponse vient de la demande précise du maître d'ouvrage qui garde ses bâtiments dans son portefeuille et qui accorde beaucoup d'importance au confort et au bien-être des usagers, il voulait impacter au minimum les gens dans l'immeuble et avoir un permis rapidement. Déjà pour avoir cette façade qui faisait que 15cm d'isolant à l'époque, on est entre basse énergie et passif, on a dû demander une dérogation pour mordre sur l'extérieur puisqu'on ne pouvait pas toucher à la structure. On a remplacé une façade qui faisait 5cm d'épaisseur par quelque chose de 25cm au total, donc déjà avec les différents éléments on mordait de plusieurs cm sur l'espace public. Puis le client n'a pas voulu changer les techniques, il nous a demandé simplement de les rhabiller, et elles ont été maintenues. Certains éléments ont été changé en toiture. Donc c'est vraiment venu de la demande du maître d'ouvrage.
- **Est-ce que c'est difficile de convaincre le client de garder la structure plutôt que de détruire le bâtiment ?**
- Aucune règle. Si je prends le premier projet à grande échelle ou l'on s'est longuement posé la question de "on garde où on ne garde pas » c'était un immeuble de bureau de 35 000 mètres carrés des années 50 je crois, habillé en pierre en bonne état. La volumétrie existante permettait d'atteindre les 33 000 mètres carrés et si on avait démolir pour reconstruire, au vu des règlements urbanistiques, on aurait eu droit à moins de mètres carrés, ce qui n'intéressait pas le maître d'ouvrage. Au vu du bon état de la pierre on a dit qu'il ne fallait pas démolir, toute la poussière, toute la matière non recyclable... Donc ça a été très facile de convaincre Axa puisqu'en rénovant l'existant il avait plus de mètres carrés qu'en construisant du neuf. Et c'est l'argent le nerf de la guerre. Donc on dit toujours que sans viabilité économique on ne convaincra personne.



Convaincre de garder, une fois que la structure est suffisamment libre et régulière, que les hauteurs sous plafond sont suffisantes c'est une évidence. Maintenant, parfois certaines structures en béton antérieures aux années 60 ou 70 comportent des enrobages qui font que c'est plus cher que de construire neuf. Alors là on démolit et on recommence. Il nous arrive d'un petit peu batailler, mais cela semble évident que même s'il y a certains budgets pour améliorer la façade existante, c'est quand même moins cher de la garder.

- **Une bonne hauteur sous plafond c'est quoi pour vous ?**
- Une hauteur sous plafond suffisante pour moi c'est 3 mètres.
- **Et si nous avons 2,7 mètres de hauteur libre et que l'on intègre les techniques dans la façade, garderiez-vous la façade ?**
- Ça dépend, si je prends Elia et que je dessine les poutres de façades, j'ai 2,7 mètres mais en zone centrale j'ai un Sofit qui descend et dans lequel j'ai toutes mes gaines. Et dans les couloirs en bureau on accepte que la hauteur sous plafond soit plus basse. Maintenant on sait bien que la mode change et les maîtres d'ouvrage veulent 2,7 mètres d'un bout à l'autre. Ce qui est heureux parce que moi je ne sais pas voir ces Sofit. Mais alors cela devient difficile et cela pousse à mettre les techniques en façade. Cependant ces techniques ne peuvent pas être trop encombrantes parce que je ne peux pas exploser la façade. Et la maintenance pose plus de problème que des techniques centrales. C'est exactement ce genre de discussion que nous avons en ce moment avec un maître d'ouvrage. Nous devons vraiment réfléchir de manière globale. L'avantage de réduire un peu la hauteur sous plafond c'est que vous avez moins de volume, vous mettez moins de matériaux en œuvre, il y a moins de dépenses énergétiques c'est évident. Mais plus c'est bas, plus ça perd en flexibilité. Ces grandes maisons bruxelloises qui peuvent accueillir tout ce que l'on veut, c'est en grande partie grâce aux grandes hauteurs sous plafond. Moins de 2,7 mètres sous plafond c'est dangereux, 2,7 mètres de hauteur libre ça va.
- **Mon utopie c'est de garder une hauteur libre de 2,7 mètres et de placer les techniques en façade pour éviter la démolition.**
- C'est une vraie piste. Par rapport à ce que nous on vit, c'est tellement une piste que certains le développe. Prenez contact avec Thierry Foucart de chez Kyotec.
- **Dans quel projet pensez-vous avoir le plus poussé le principe de la démontabilité et du réemploi ?**
- Notre dernier projet où nous avons réemployé. C'est logique que ce soit notre dernier qui soit le plus abouti, HD54 qui se termine maintenant. Également parce que c'est AXA qui porte magnifiquement son projet et un bon projet c'est un projet main dans la main avec le maître d'ouvrage. Axa garde ses bâtiments dans son portefeuille et a donc une vraie réflexion de bon père de famille, qui fait que la pérennité prend tout son sens de manière globale. Le souci de HD54 ne naît ni de nous ni du MO mais bien que derrière cette façade bois il y a un voile et non un système de colonne poutre colonne.
- **Est-ce que vous pensez que les différents bâtiments que vous avez conçus seront démontés en fin de vie afin d'être réemployés ?**
- On indique uniquement comment démonter un panneau, et pas tous. Donc on n'a jamais fait de plan pour voir comment démonter tout. On n'a jamais pensé à le faire. Je pense que cela devrait être écrit dans le cahier des charges par le façadier. Je pense que façade cadre leur démontage

est très important donc le démontage aura tout autant d'importance. Les cahiers de charge sont de plus en plus importants donc je pense que cela pourrait être rajouté facilement. Ce sont de bonnes questions.

- **Pour résumer, ce que vous aimeriez aborder c'est la structure en bois, l'intégration des techniques en façade, il y a-t-il d'autres étapes ou défis à relever dans le domaine des façades démontables ?**
  
- Le problème c'est que nous ne sommes pas des théoriciens, j'ai du mal à me rendre compte de ce qui se passe autour de nous. J'ai été à une conférence avec un bout de façade de HD54 et beaucoup de gens le photographiaient pour copier les détails. Donc peut être que ce n'est pas très répandu, mais en Europe cela se fait. Concevoir des nouveaux bâtiments avec une façade démontable pour permettre des modifications aisées, c'est difficile de trouver des clients. AXA qui est plutôt conservateur sont venu nous dire qu'ils voulaient ça. J'ai du mal à voir que c'est si novateur ou rare que ça parfois. Mais c'est vraiment une question de budget. Cette question est omniprésente.
- **Quelles sont les compétences que vous cherchez chez un entrepreneur pour la démontabilité ?**
  
- C'est une question de rigueur. Si on a de la rigueur on peut acquérir les compétences. Mais il ne faut pas spécialement des compétences de base et un peu d'engagement. C'est à l'architecte d'acquérir les compétences pour réaliser un cahier des charges suffisamment précis afin que l'entrepreneur sache ce qu'il faut faire

**Conclusion de l'interview :** Sabine Leribaux, dont le bureau crée des projets démontables depuis une dizaine d'année, n'avait jamais même pensé au zéro déchet. Elle trouve que l'intégration des techniques en façade est une piste très intéressante qu'elle aimerait approfondir. Les façades qu'ils créent ne semblent pas encore être à la fois parfaitement démontables module par module et durable, il pourrait donc être intéressant d'essayer d'améliorer ce point-là en se basant sur leurs travaux.

# Table des illustrations

---

**Figure 1** : Mise en place de modules démontables sur Loi 227. Source : Architectes Associés, 2018.

**Figure 2** : « Chantier de démolition avec des piles de matériaux recyclables ayant une valeur faible ou nulle en tant que ressources pour les futurs bâtiments. ». Source: Guldager, Sommer, 2016.

**Figure 3** : Notre économie linéaire mène à la destruction et au gaspillage. Source : schéma réalisé par l'auteur.

**Figure 4**: De la production à la destruction des bâtiments. Source : Cours de Matérialité et éco-conception LBARC 2061, 2017-2018.

**Figure 5** : Le démontage afin d'éviter l'extraction, la production et le traitement des déchets. Source : [http://www.vademecum-reuse.org/Vademecum\\_extraire\\_les\\_materiaux\\_reutilisables-Rotor.pdf](http://www.vademecum-reuse.org/Vademecum_extraire_les_materiaux_reutilisables-Rotor.pdf).

**Figure 6** : Analyses de cycle de vie pour une brique de parement neuve et pour une brique de parement issue du réemploi : importance de la production sur l'impact environnemental. Source: CSTC : <https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=bbri-contact&pag=Contact26&art=388>.

**Figure 7** : Manière de construire s'inscrivant dans l'économie circulaire. Source : schéma réalisé par l'auteur. Source de certaines images : Paduart, 2012.

**Figure 8** : Les différentes strates d'un bâtiment. Source : Brand, 1994.

**Figure 9** : Répartition du coût global d'un bâtiment sur 50 ans (exemple d'un lycée). Source : entrevue avec Gaëtan Duyckaerts des Ateliers de l'Avenir.

**Figure 10** : 24 Critères d'évaluation des façades démontables zéro déchet. Source : Schéma réalisé par l'auteur. Source de certaines images : Guldager, Sommer, 2013.

**Figure 11 et 12** : Façades démontables. Source : Auteur anonyme 1, 2018.

**Figure 13** : Module préfabriqué de la façade. Source : Détail donné par Sabine Leribaux lors d'une entrevue.

**Figure 14** : Jonction entre modules. Source : Détail donné par Sabine Leribaux lors d'une entrevue.

**Figure 15**: variété de modules 90 cm de large. Source : Détail donné par Sabine Leribaux lors d'une entrevue.

**Figure 16** : Jonction entre modules. Source : Détail donné par Sabine Leribaux lors d'une entrevue.

**Figure 17** : Modules sur chantier. Source : Détail donné par Sabine Leribaux lors d'une entrevue.

**Figure 18** : Jonction entre modules. Source : Détail donné par Sabine Leribaux lors d'une entrevue.

**Figure 19 et 20** : Façades. Source : Architectes Associés, 2018.

**Figure 21**: Module de façade pendant le chantier. Source : Architectes Associés, 2018.

**Figure 22** : Façade finie. Source : Architectes Associés, 2018.

**Figure 23** : façade des bureaux. Source : Auteur anonyme 6, 2019.

**Figure 24**: Seconde peau d'acier et de verre. Source : Auteur anonyme 6, 2019.

**Figure 25** : Système fermé (à gauche) et ouvert (à droite). Source : CSTC, 2013.

**Figure 26** : modules préfabriqués. Source : Image donnée par Gaëtan Duyckaerts lors d'une entrevue.

**Figure 27 et 28** : Modules entre colonnes. Source : Image donnée par Gaëtan Duyckaerts lors d'une entrevue.

**Figure 29** : Caissons préfabriqués. Source : Image donnée par Gaëtan Duyckaerts lors d'une entrevue.

**Figure 30**: Façade achevée en briquettes. Source : Image donnée par Gaëtan Duyckaerts lors d'une entrevue.

**Figure 31**: Coupe de détail de la jonction des modules. Source : Image donné par Gaëtan Duyckaerts lors d'une entrevue

**Figure 32**: Attache d'un module à la dalle. Source : Image donné par Gaëtan Duyckaerts lors d'une entrevue.

**Figure 33** : Coupe du système constructif. Pelegrin-Genel, 2013.

**Figure 34** : Schéma de la manutention des modules. Source : Pelegrin-Genel, 2013.

**Figure 35** : Largeurs des modules. Source de l'image : Schéma réalisé par l'auteur.

**Figure 36** : Variété de modules. Source de l'image : Schéma réalisé par l'auteur.

**Figure 37**: Composition du module. Source : Image donnée par Sabine Leribaux lors d'une entrevue et modifiée par l'auteur.

**Figure 38**: Composition du module. Source : Image donnée par Sabine Leribaux lors d'une entrevue et modifiée par l'auteur.

**Figure 39, 41, 43, 45, 47** : Pattes d'accroches possibles. Source : Documents réalisés par l'auteur.

**Figure 40, 42, 44, 46** : Accroches des modules. Source : Architectes Associés, 2018.

**Figure 48** : Accroches de Cuesmes. Source : Gaëtan Duyckaerts des Ateliers de l'Avenir lors d'une entrevue.

**Figure 49** : Système ClickBrick Source : Deprins, 2015.

**Figure 50** : Besoins énergétiques nécessaires à la fabrication et / ou production des matériaux. Source : Guldager, SOMMER, 2016, traduit par l'auteur.

**Figure 51 à 55** : Techniques de ventilation. Source : Schémas réalisés par l'auteur.

**Figure 56 et 57** : Gestion des différences de niveau. Source : Schémas réalisés par l'auteur.

**Figure 58 et 59** : Création d'une nouvelle structure et conservation de la structure existante. Source : Schémas réalisés par l'auteur.

**Figure 60** : Bâtiment existant. Source : photos prises par l'auteure.

**Figure 61** : Le cas d'étude et son contexte. Source : Schéma réalisé par l'auteure sur base d'une photo de MDW Architecture.

**Figure 62** : Densité de bureaux et densité de population. Sources : Merschaert, 2017. Cartes réalisées sur base des « Observatoires de bureaux ».

**Figure 63 à 68** : Schéma et carte du Master plan. Source : Documents réalisés par l'auteur en collaboration avec 6 autres étudiants de Master 2.

**Figure 69** : Bâtiments des années 60-70 du quartier européen. Source : Carte réalisée sur base d'une carte de Julie Merschaert dans son TFE sur « La conversion des immeubles de bureaux en logements au sein de la région bruxelloise » et de l'Observatoire des bureaux.

**Figure 70** : élévation Sud du cas d'étude rue Montoyer. Source : Elévation réalisée par l'auteure.

**Figure 71**: Axonométrie du bâtiment. Source : Document réalisé par l'auteure.

**Figure 72**: Coupe et élévation Sud. Source : Documents réalisés par l'auteure.

**Figure 73**: Plan type des bureaux et des logements. Source : Documents réalisés par l'auteure.

**Figure 74**: Scénarios auxquels la façade doit répondre. Source : Document réalisé par l'auteure.

**Figure 75 et 76**: Modules créés. Source : Documents réalisés par l'auteure.

**Figure 77** : Découpe des plaques de verres. Source : Document réalisé par l'auteure.

**Figure 78** : Localisation des fournisseurs. Source : Document réalisé par l'auteure.

**Figure 79** : Variante de module. Source : Document réalisé par l'auteure.

**Figure 80**: Plan avec la ventilation et l'attache des modules à la dalle.

**Figure 81**: coupe dans la terrasse du 4ème étage. Source : Documents réalisés par l'auteure.

**Figure 82:** Composition des murs (de gauche à droite) : 1. démontables, 2. béton et polyuréthane, 3. béton et laine de roche. Source : Documents issu de TOTEM et modifiés par l'auteur.

**Figure 83 :** Plan de ventilation des bureaux. Source : Document réalisé par l'auteur.

**Figure 84 :** Plan de ventilation des logements. Source : Document réalisé par l'auteur.

**Figure 85 :** Pose du dernier module de Loi 227. Source : Architectes Associés, 2018.

**Figure 86:** Coupe schématique des phases du chantier. Source : Document réalisé par l'auteur.

**Figure 87 :** Manuel de démontage d'un module. Source : Document réalisé par l'auteur.

**Figure 88:** Cycle de vie d'un bâtiment avec une façade zéro déchet. Source : Document réalisé par l'auteur.

**Figure 89 :** Cycles de vie des matériaux de façade. Source : Document réalisé par l'auteur.

**Figure 90 :** Cycles de vie des composants des modules. Source : Document réalisé par l'auteur.

# Bibliographie

---

## Ouvrages

- BOHLKE, Anders, *Bureaux du passé, habitants du présent*, Bruxelles : la Direction Études et Planification, 2013.
- BRAND, Stewart *How Buildings Lean*, New-York: Viking Press, 1994.
- BRAUNGART, Michael, *Cradle to cradle: Créer et recycler à l'infini*, Paris : Alternatives, 2011.
- CAMBIER, Charlotte, *Maisons expansibles*, mémoire de fin d'études sous la direction de Niels De Temmerman, Bruxelles : VUB, 2017.
- CHAYNES, Marie, *Comment rénover un bâtiment afin qu'il puisse évoluer durablement et devenir une ressource d'usages, et de matières, tout au long de son cycle de vie ?*, mémoire de fin d'études sous la direction de Philippe Honhon, Bruxelles : UCL, 2018.
- CHOPPIN, Julien, *Matière grise : Matériaux, réemploi, architecture*, Paris : Pavillon de l'Arsenal, 2014.
- DELMEE, Hélène, *Un vade mecum pour la conception à partir de matériaux de réemploi*, mémoire de fin d'études sous la direction de Emilie Gobbo, Bruxelles : UCL, 2017.
- DEPRINS, Louise, *Analysing the transformability degree in design for change*, mémoire de fin d'études sous la direction de Niels De Temmerman, Bruxelles : VUB, 2015.
- ENJOLRAS, Christian, *Jean-Prouvé : Les maisons de Meudon*, Paris : La Villette, 2003.
- GHYOOT, DEVLIEGER, VILLIERS, WARNIER, ROTOR, Michaël, Lionel, André, *Déconstruction et réemploi. Comment faire circuler les éléments de construction*, Lausanne : PPUR, 2018.
- GOBBO, Emilie, *Déchets de construction, matières à conception : analyse des stocks et flux de matières dans le cadre des opérations de rénovation énergétique en Région de Bruxelles-Capitale*, thèse de doctorat, Bruxelles : Presses Universitaires de Louvain, 2015.
- GOBBO, TRACHTE, MASSART, Emilie, Sophie, Catherine, *Energy retrofit scenarios: material flows and circularity.SBE19 Brussels - BAMB-CIRCPATH: Buildings As Material Banks - A Pathway for a Circular Future*, Bruxelles, 2019.
- GRAINDORGE, Joël, *Le guide du recyclage et du réemploi*, Paris : technicités, 2006.
- GULDAGER, SOMMER, Kasper, John, *Building a Circular Future*, Haraldsgade: Danish Environmental Protection Agency, 2016.
- HOYET, Nadia, *Matériaux et architecture durable*, Paris : Dunod, 2017.
- HUYGEN, Jean-Marc, *La poubelle et l'architecte : vers le réemploi des matériaux*, Arles : Actes Sud, 2009.
- LASSERRE, LACONTE, BOHLKE, DOOREMAN, Christian, Pierre, Anders, Béatrice, *Bureaux du passé, habitants du présent. La conversion d'immeubles de bureaux en logements et en équipements en Région de Bruxelles-Capitale*, Bruxelles : Direction Études et Planification, 2013.
- MESCHAERT, Julie, *La conversion des immeubles de bureaux en logements au sein de la région bruxelloise*, mémoire de fin d'études sous la direction de Frédéric Luyckx, Bruxelles : UCL, 2017.

MORGAN, STEVENSON, Chris, Fionn, *Design and Detailing for Deconstruction*, Ecosse: SEDA, 2005.

ORÉE , *Comment mieux déconstruire et valoriser les déchets du BTP ?* , Paris : Association Orée, 2018.

PADUART, Anne, *Re-design for change*, thèse sous la supervision de Hugo Sol et de Willy De Wilde, Bruxelles : VUB, 2012.

SASSI, Paola, *Strategies for Sustainable Architecture*, Abingdon-on-Thames : Routledge, 2006.

WARNIER, BILLIET, André, Lionel, *Le réemploi des éléments de construction : histoires, tendances et perspectives*, Lausanne: PPUR, 2017.

## Articles de revues

CARTON Vincent, « Et demain, le bureau durable ? », dans l'Observatoire des bureaux, mars 2013, 228-229.

DE BEULE, DOORNAERT, HANSENS, Michel, Alain, Bart, « Vacance 2012 à Bruxelles et zoom sur le Quartier Léopold » dans L'observatoire des bureaux, n° 31, 2013, 2-33.

LEPOT, Cécile, « Australie. Centre d'activités pour enfants, Melbourne », dans Ecologik, architecture, ville, société, énergie (Gentilly), n°6, déc 2008/ ja 2009, 48 – 57.

LEPOT, Cécile, « Quel devenir pour les déchets de bois ? », dans Ecologik, architecture, ville, société, énergie, n°26, av/ mai 2012, 70– 71.

WILSON, Ariane, « Réduire, réutiliser, recycler », dans Ecologik, architecture, ville, société, énergie (Gentilly), n°7, Fév/mars 2009, 56 – 76.

## Sites internet

ARCHITECTES ASSOCIES, *Projets* - en ligne: <<http://www.architectesassoc.be/>> [27.12.2018].

ATELIER DE L'AVENIR, *CIMEDE* – en ligne : <<http://www.atelier-de-lavenir.be/01116/fr/Cimede>> [25.12.2018].

BRUSSELSRETROFITXL, *AIM-ES* - en ligne : <<https://www.brusselsretrofitxl.be/projects/aim-es/>> [25.12.2018].

CSTC, *Coûts financiers et impact environnemental* - en ligne (02.03.2010) : <<https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=bbri-contact&pag=Contact26&art=388>> [25.12.2018].

CSTC, *Projet de recherche, AIM-ES* - en ligne (01.01.2013): <<https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=projects&proj=2>> [25.12.2018].

CSTC, *Projets de recherche, Modul'Air* - en ligne (01.09.2017): <<https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=projects&proj=728>> [25.12.2018].

DANSCHUTTER, Stefan, *Construction industrielle flexible et démontable* - en ligne : <<http://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=bbricontact&pag=Contact13&art=202>> [19.11.2017].

DUBOIS, REMY, DE BOUW, Samuel, Olivier, Michael, *AIM-ES* - en ligne: <<https://www.brusselsretrofitxl.be/projects/aim-es/>> [25.12.2018].

GLOBAL FOOTPRINT NETWORK, *Country Overshoot Days* - en ligne : <<https://www.footprintnetwork.org/>> [25.12.2018].

- GUILLEMEAU, WAGELMANS, Jean-Marc, Paul, *Réemploi, réutilisation : guide pratique des matériaux de construction* - en ligne (27/08/2013) : <[http://www.confederationconstruction.be/Portals/28/cellule%20environnement/guidesdocumentsutiels/Guide%20r%C3%A9emploi\\_r%C3%A9utilisation%20des%20mat%C3%A9riaux%20de%20construction.pdf](http://www.confederationconstruction.be/Portals/28/cellule%20environnement/guidesdocumentsutiels/Guide%20r%C3%A9emploi_r%C3%A9utilisation%20des%20mat%C3%A9riaux%20de%20construction.pdf)> [19.11.2017].
- HELIOPAC, *Les gaz à effet de serre* - en ligne : <<http://www.heliopac.fr/accueil/les-gaz-a-effet-de-serre/>> [25.12.2018].
- LAFFINEUR, Thierry, *Essentielle Immo* - en ligne (07.05.2016): <[https://issuu.com/saipm/docs/essi\\_20160507\\_essi\\_full\\_20160517\\_15](https://issuu.com/saipm/docs/essi_20160507_essi_full_20160517_15)>[25.12.2018].
- LE NOTAIRE, *Dossier d'intervention ultérieure – DIU –* en ligne : <<https://www.notaire.be/acheter-louer-emprunter/vente-achat-generalites/documents-et-attestations-exiges-pour-vendre/dossier-d-intervention-ulterieure-diu>> [25.12.2018].
- LERAY, Christophe, *Réversibilité : de la théorie à la pratique* - en ligne (03.05.2016) : <<http://www.sarea.fr/pdf-2/05.pdf>> [25.02.2019].
- L'ECHO, *Quand les bureaux deviennent appartements-* en ligne (26.03.2018): <<https://www.lecho.be/partnercontent/immobilier/construction-et-reconversion/quand-les-bureaux-deviennent-appartements/9995837.html>> [27.12.2018].
- MATHIEU, Clémence, « Vers le zéro déchet » dans *Ecologik, architecture, ville, société, énergie* (Gentilly), n°8, av/ mai 2009, 58 – 61.
- MINISTERE DE LA TRANSITION ECOLOGIQUE ET SOLIDAIRE, *Énergie dans les bâtiments* - en ligne (21.11.2016): <<https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/energie-dans-batiments>> [25.12.2018].
- PELEGRIN-GENEL, Elisabeth, *Le logement industrialisé vu par l'architecte Patrick Rubin*- en ligne (21.06.2013) : <<https://www.lemoniteur.fr/article/le-logement-industrialise-vu-par-l-architecte-patrick-rubin.826769>> [20.05.2019].
- SELKE, Phillippe, Monnoyer, *Bâtiment exemplaire pour Elia à Schaerbeek, par Architectes Associés-* en ligne (07.02.2014) : <<http://www.architectura.be/fr/actualite/5719/monnoyer-batiment-exemplaire-pour-elia-a-schaerbeek-par-architectes-associes>> [25.12.2018].
- TALJO, Aska, *Guidance for design for deconstruction* – en ligne (28.10.2013): <<http://docplayer.fi/41030283-Wp-2-1-guidance-for-design-for-deconstruction-suunnittelu-uudelleenkattoa-ja-kierratysta-varten.html>> [05.05.2019].
- VINCI CONSTRUCTION, *Allier rapidité et économie avec Habitat Colonne-* en ligne : <<https://www.vinci-construction.fr/nos-expertises/nos-offres-et-solutions/habitat-colonne>> [20.05.2019].
- WEBSTER, GUMPERTZ, HEGER, COSTELLO, Mark, Simpson, Simpson, Daniel, *Designing Structural Systems for Deconstruction-* en ligne: <<https://www.lifecyclebuilding.org/docs/Designing%20Structural%20Systems%20for%20Deconstruction.pdf>> [25.12.2018].
- Auteur anonyme 1, *Retour sur la visite Circular Retrofit Lab* - en ligne (14.06.2018): <<https://www.ecobuild.brussels/fr/professionnel/news/retour-sur-la-visite-du-circular-retrofit-lab>> [25.12.2018].
- Auteur anonyme 2, *Étude de cas, Aeropolis II* - en ligne: <<https://www.guidebatimentdurable.brussels/fr/prefabrication.html?IDC=9590>> [25.12.2018].
- Auteur anonyme 3, *Essentielle Immo* - en ligne: <[https://issuu.com/saipm/docs/libre\\_immo\\_08092016](https://issuu.com/saipm/docs/libre_immo_08092016)> [25.10.2018].



Auteur anonyme 4, *Matériau écologique : quels sont les critères ?* - en ligne : <<https://www.futura-sciences.com/maison/questions-reponses/batiment-materiau-ecologique-sont-criteres-3164/>> [25.12.2018].

Auteur anonyme 5, *Les isolants* – en ligne : <<https://www.toutsurlisolation.com/Choisir-son-isolant/Les-isolants/Isolants-en-laines-vegetales/Fibre-de-bois>> [13.03.2019].

Auteur anonyme 6, Delftech office, en ligne: <<https://www.biermanhenket.nl/>> [20.03.2019].

Auteur anonyme 7, *Le bâti bruxellois, source de nouveaux matériaux* - en ligne : <<https://www.bbsm.brussels/en/home/>> [26.06.2019].



# EVOLUTION DU QUARTIER EUROPEEN

## XIXème siècle



Source : spacesyntax. Carte de Ch. Vandermaelen 1858.

Développement du quartier européen en 1838.

Il constitue le premier quartier d'urbanisation extensive à l'extérieur du Pentagone destiné aux classes solvables, à la bourgeoisie et à l'aristocratie.

Le début du tracé orthogonal du quartier est déjà visible.

Le plan de la structure viaire du quartier est déployé en fonction des axes de prolongement du parc de Bruxelles.

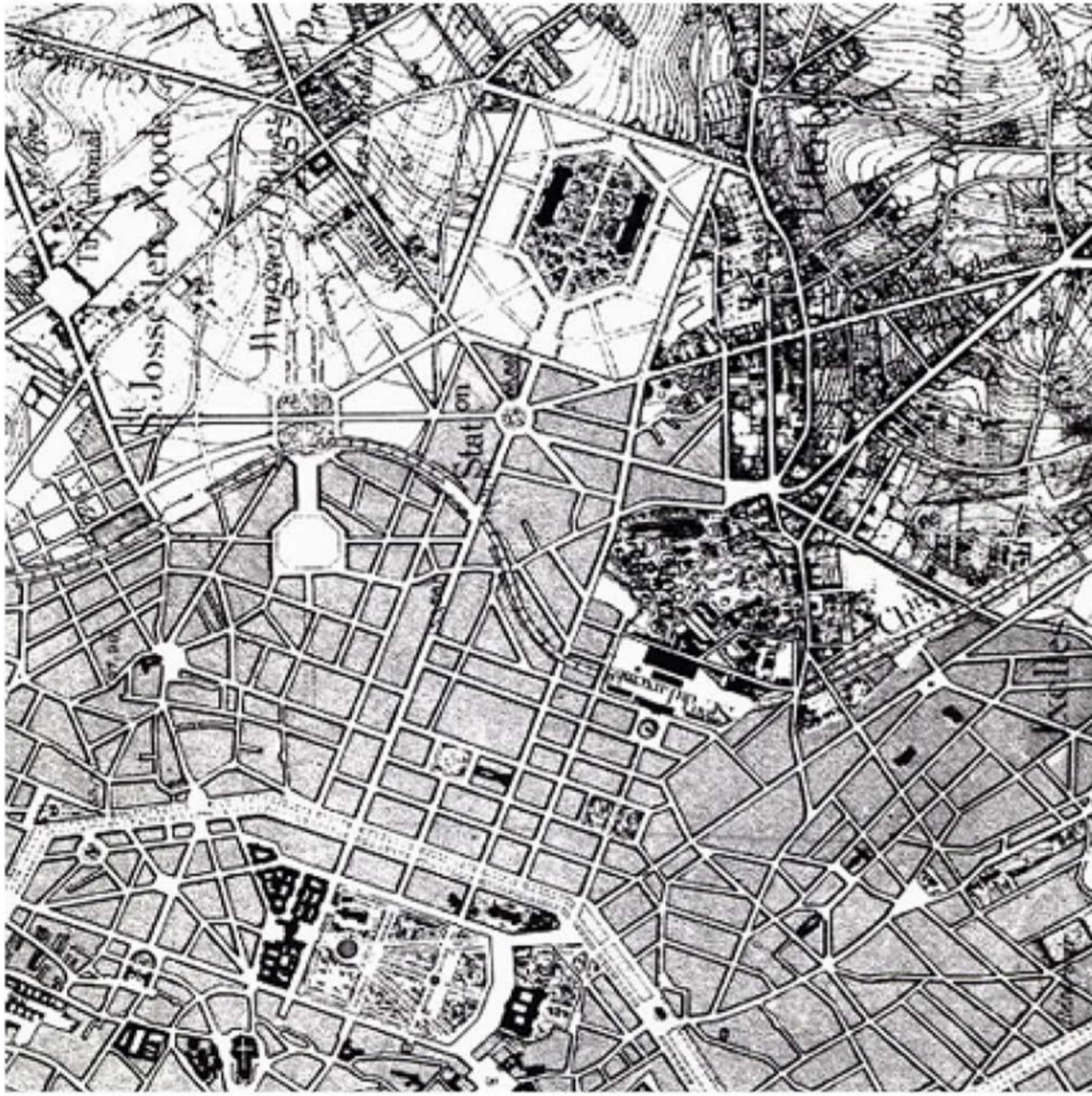
L'ambition était de créer un quartier qui côtoyait les grands équipements de la Ville, à savoir les Ministères et le Palais, mais qui non seulement avait en son sein des équipements capables de créer une mixité dans un quartier occupé majoritairement par la fonction résidentielle. De cette intention, seule l'église érigée en 1844 donnant sur le square Frère-Orban est restée.

# ANALYSE DU QUARTIER EUROPEEN

## Zone entourée de fractures urbaines



## Fin XIXème - début XXème siècle



Source : spacesyntax. Carte du CMRS de 1881.

Les premiers jets du plan Besme apparaissent.

L'urbanisation du quartier s'est intensifiée avec les nombreux projets qui y voient le jour.

En parallèle, le caractère orthogonal du quartier se voit confirmé avec cette densification.

## Manque de connexions entre espaces verts



## Fin XXème - début du XXIème siècle

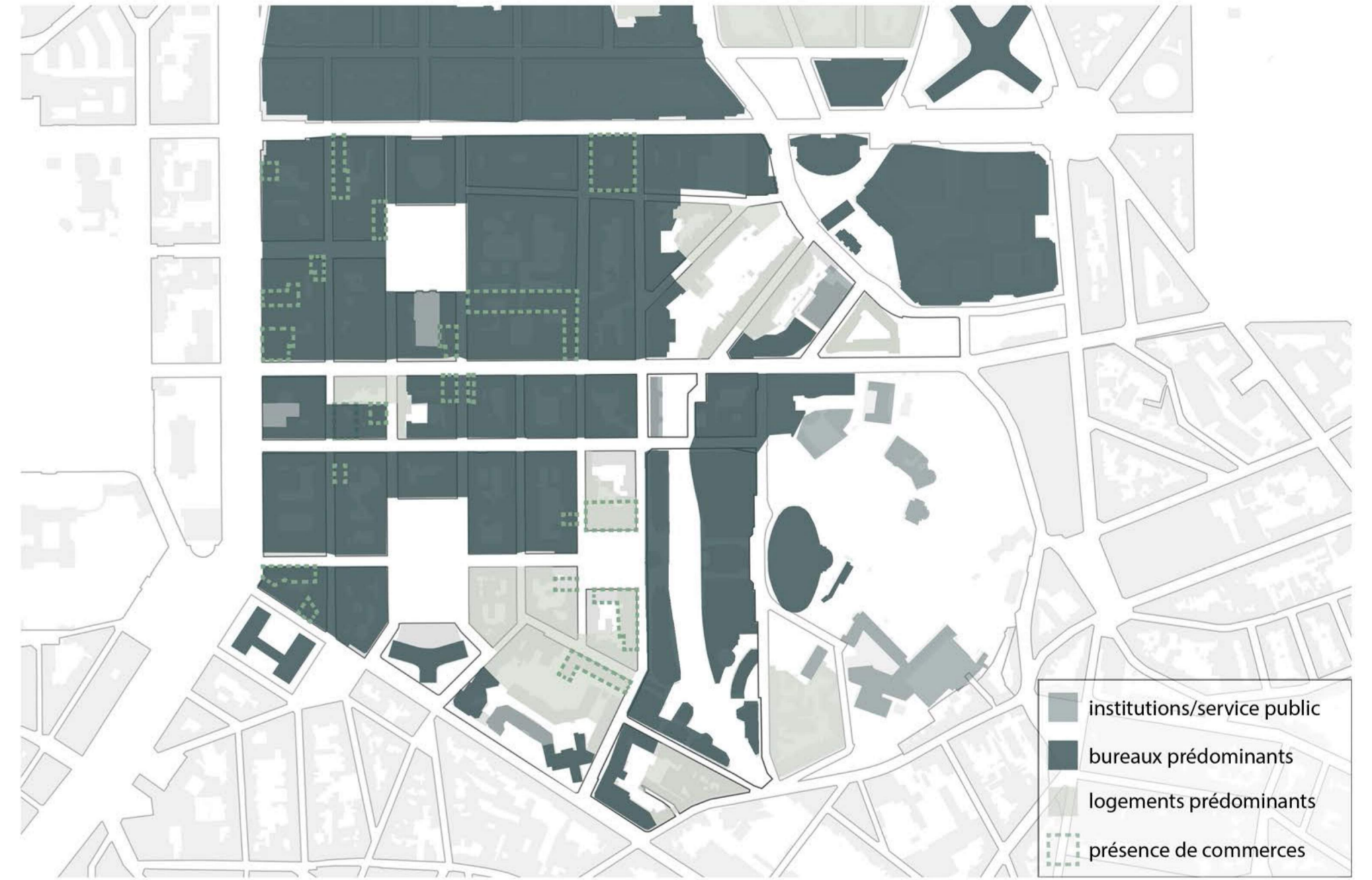


Source : spacesyntax. Carte ING, situation de 1991.

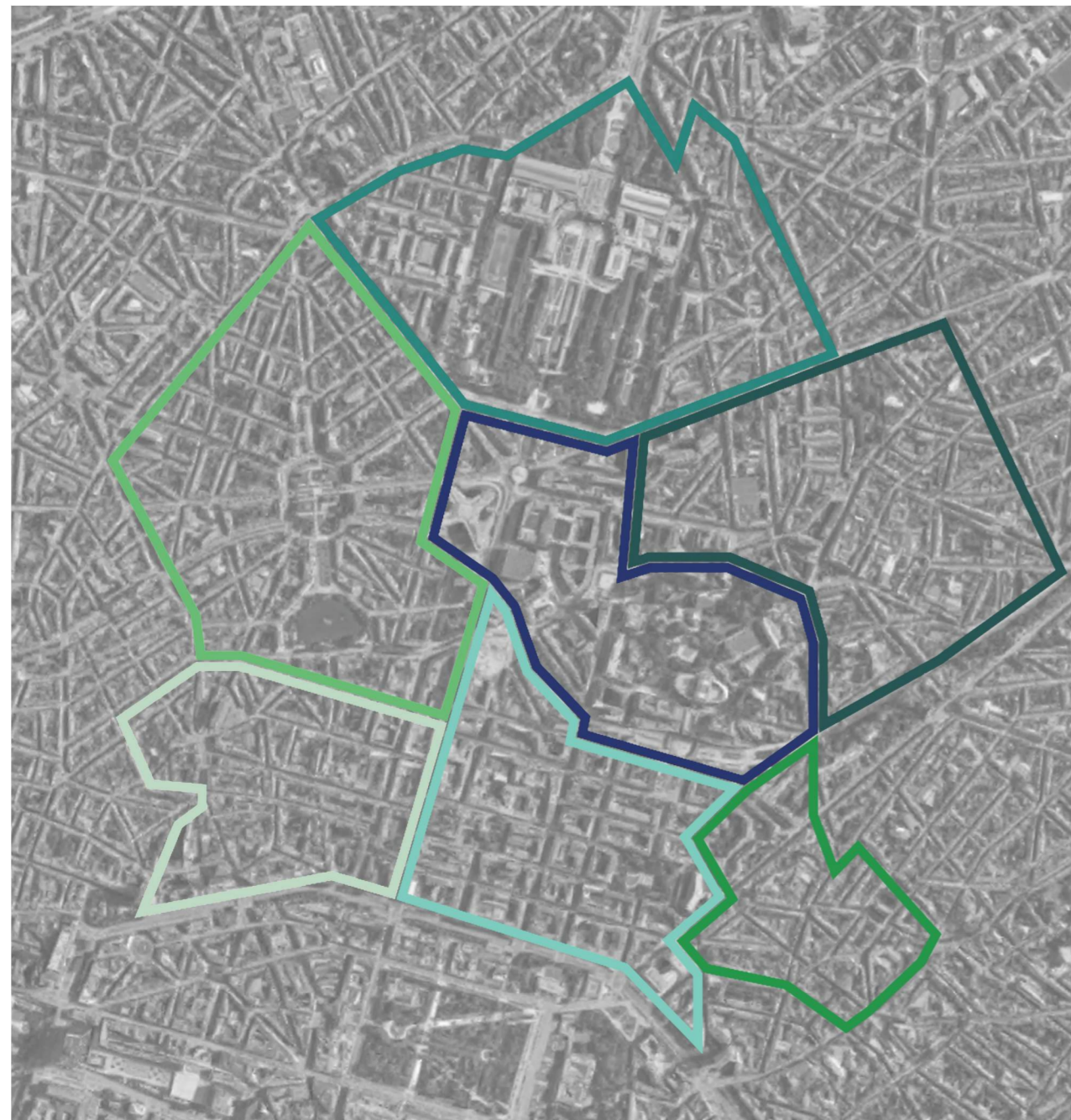
Les tracés du plan Besme sont complètement annexés à la ville.

Le tracé sinueux des anciennes voiries a subsisté et cohabite avec les nouvelles voiries. Toutefois, ces routes historiques sont restées des poles attractifs importants.

## Monofonctionnalité du quartier européen

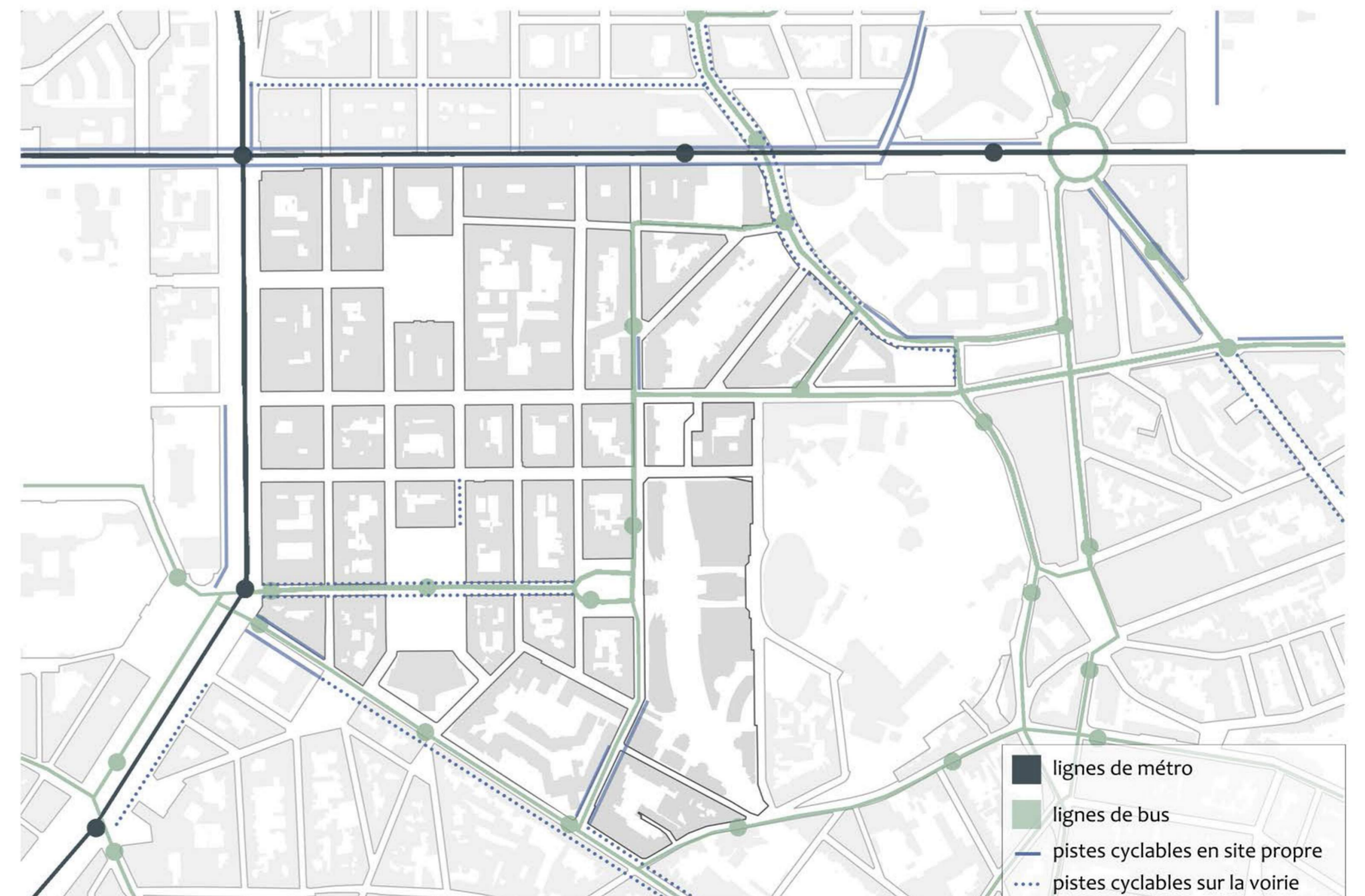


## Aujourd'hui

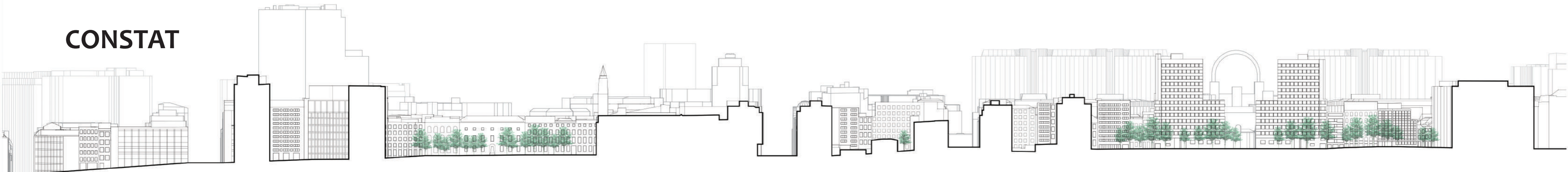


Source: Observatoire des quartiers

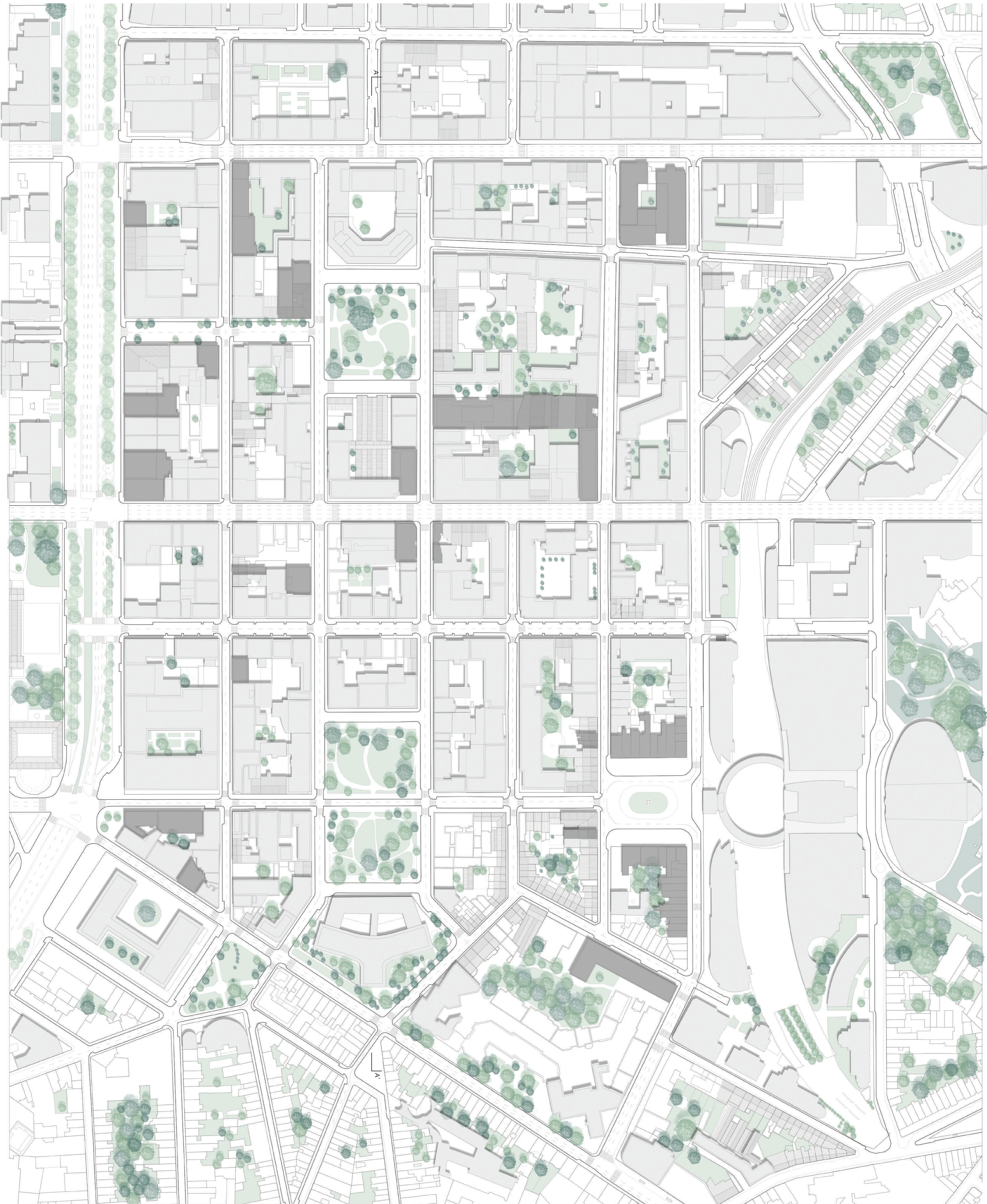
## Mobilité : des zones plus desservies que d'autres



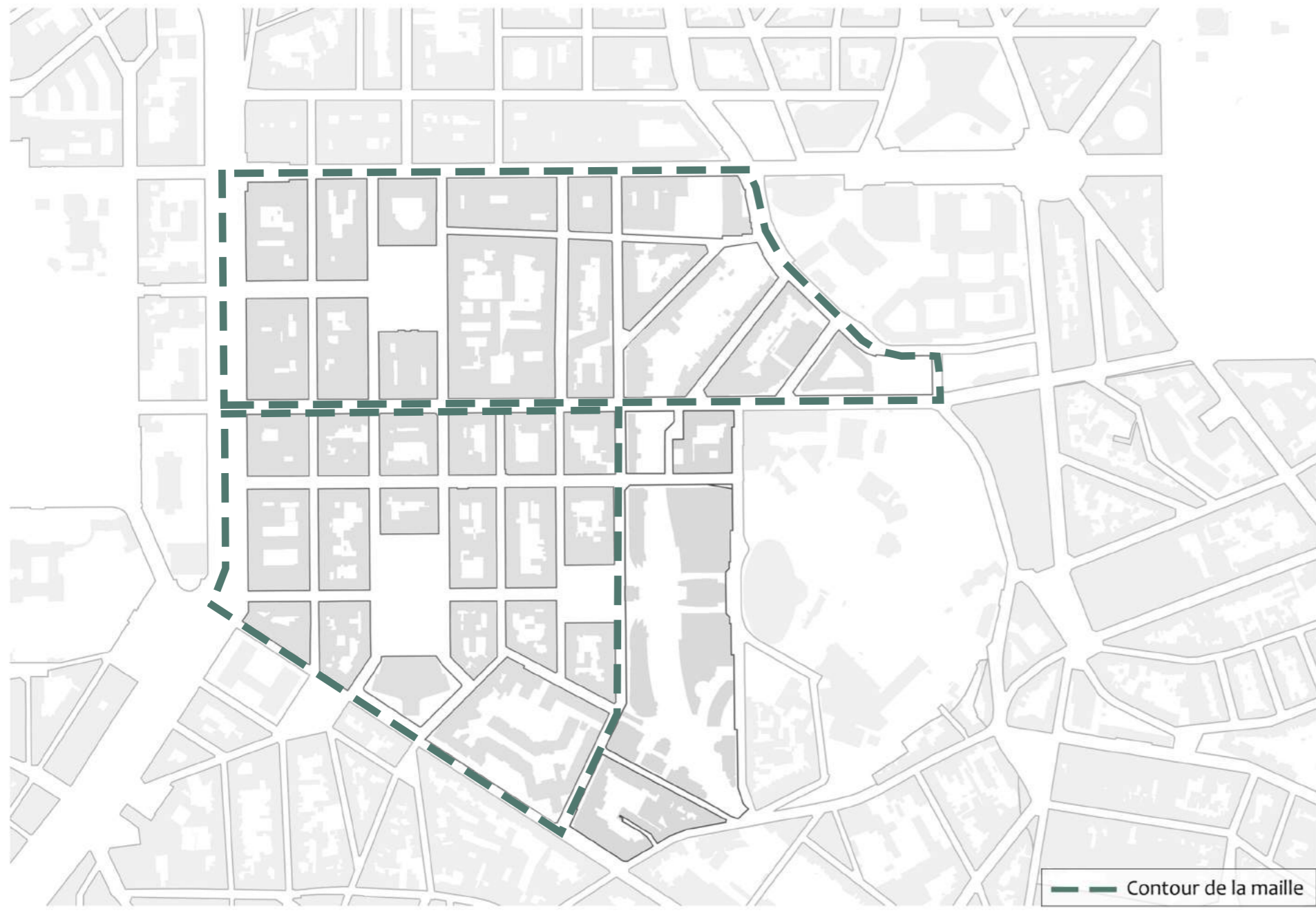
# CONSTAT



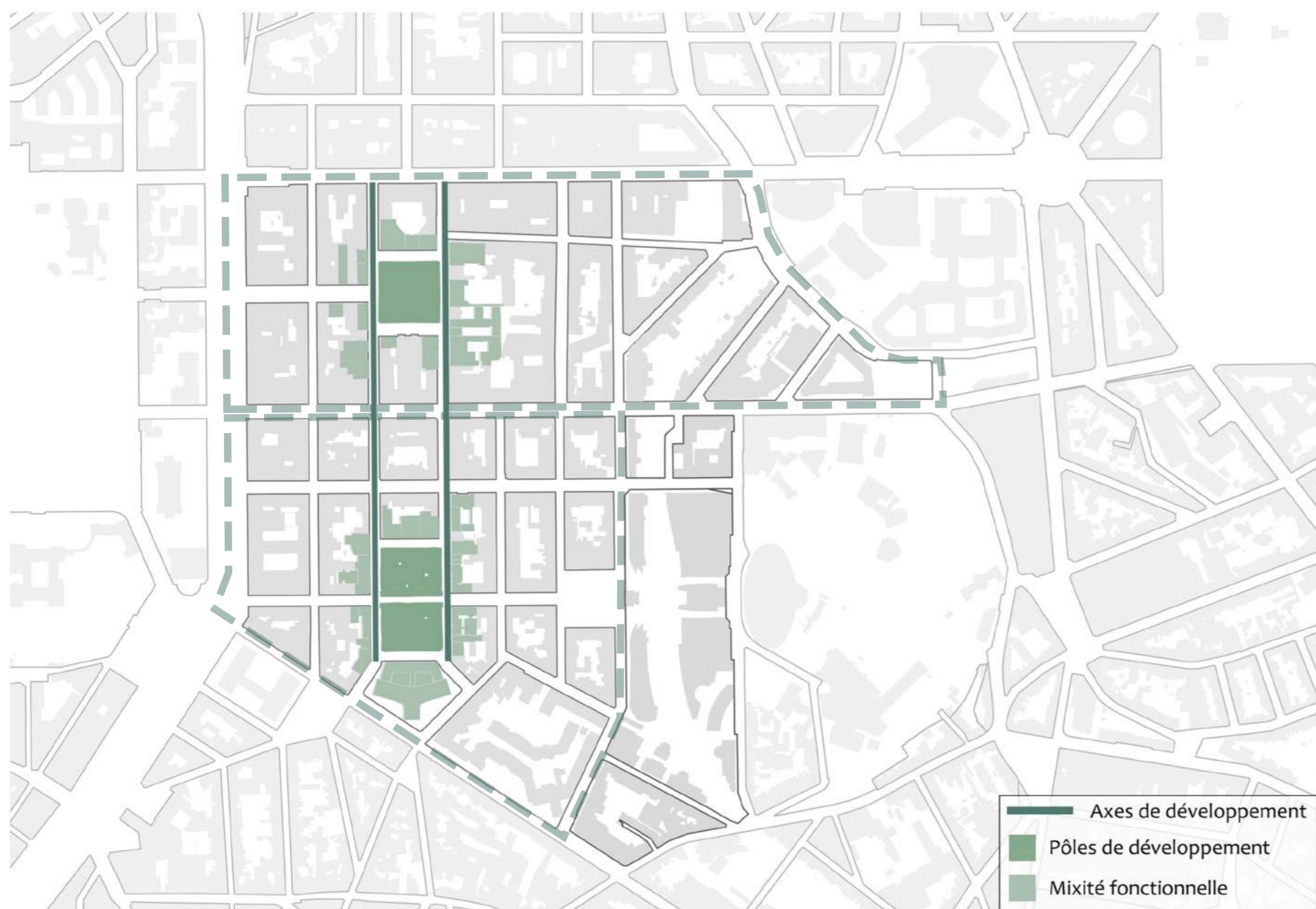
Coupe AA'



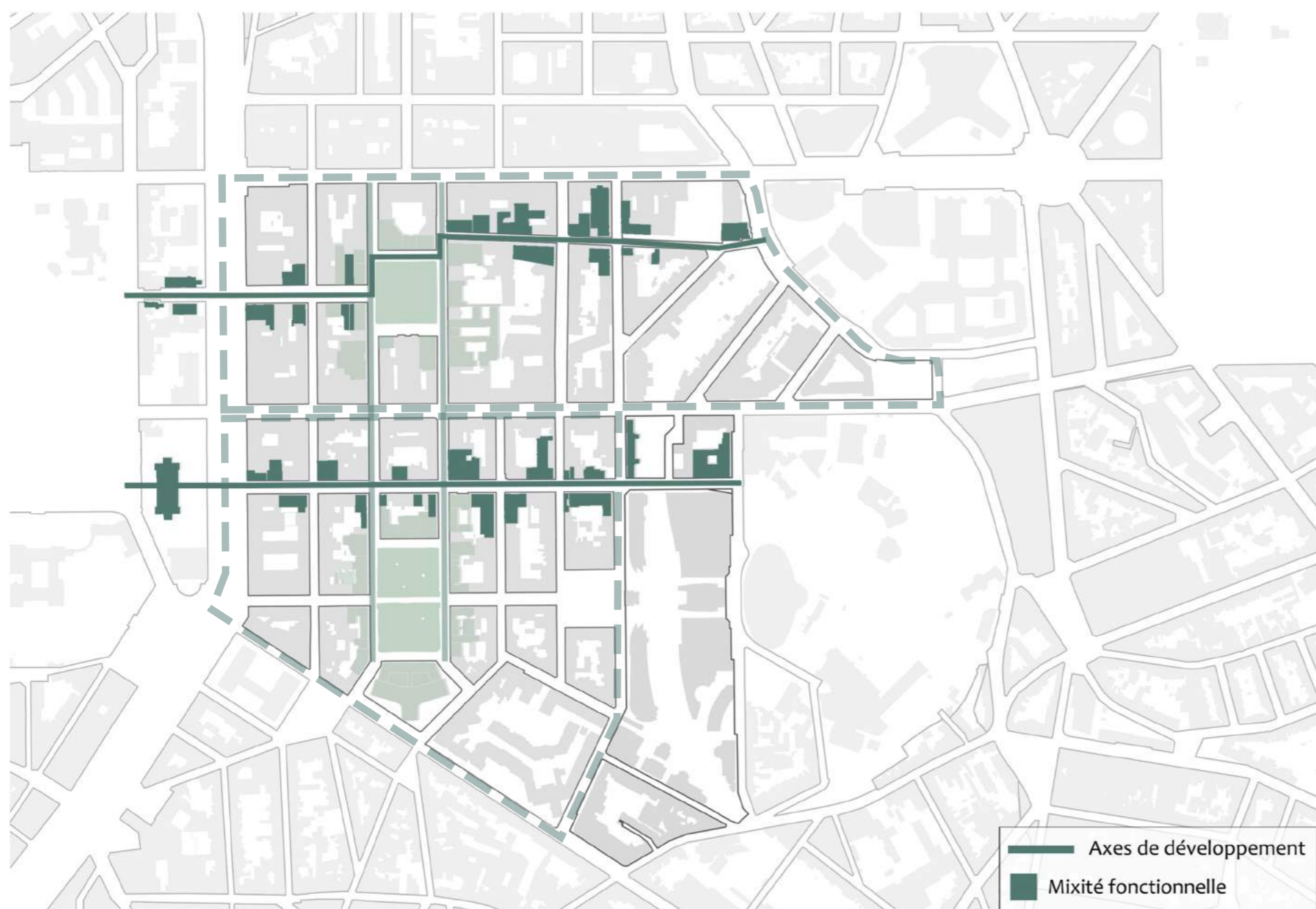
# PHASAGES



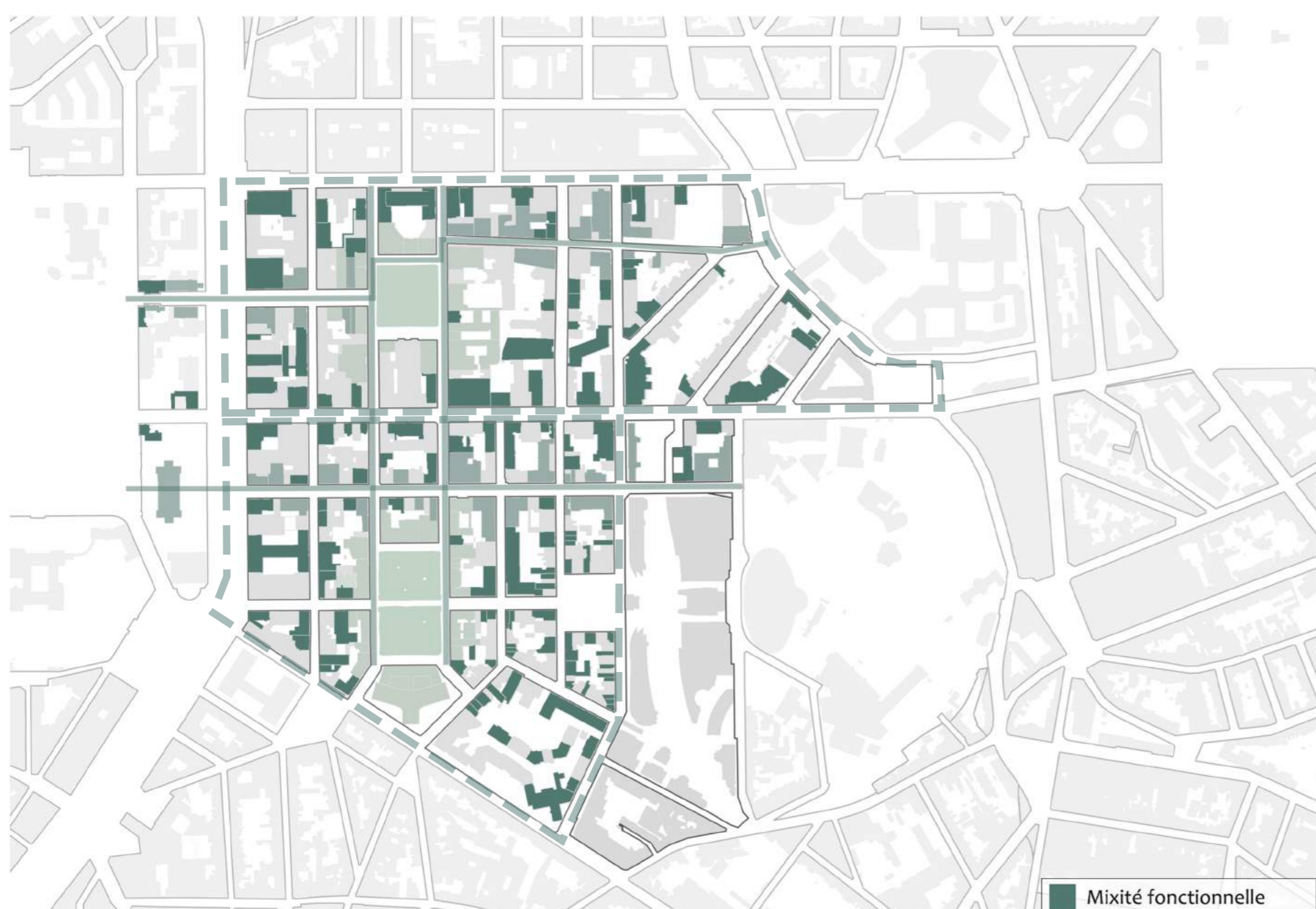
PHASE 1: Maillage



PHASE 2: Pôles et mixité



PHASE 3: Axes verts/desserte locale - mixité



PHASE 4: mixité fonctionnelle dans l'ensemble du quartier

# COUPES



Coupe rue de la Loi

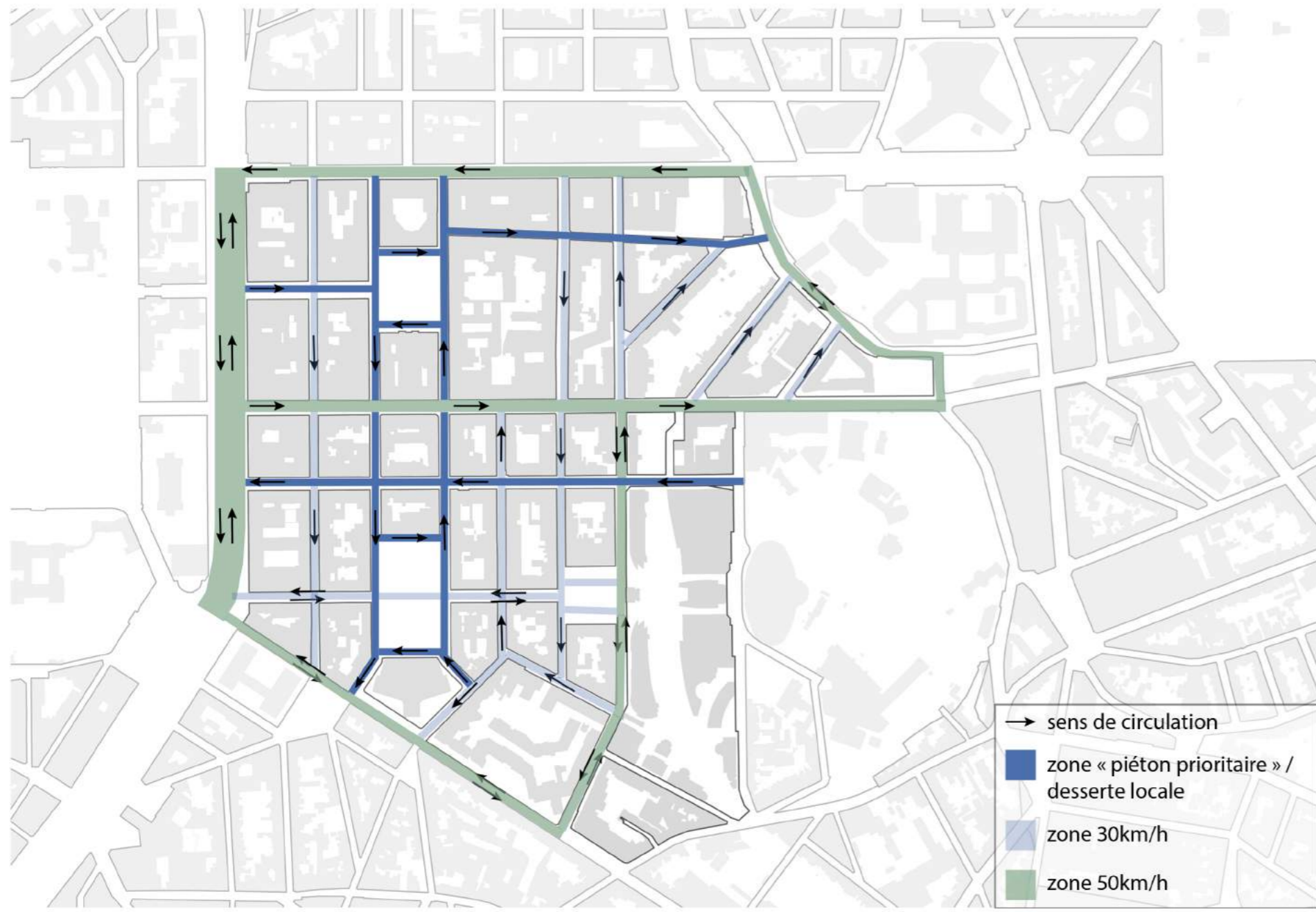


Coupe du Square

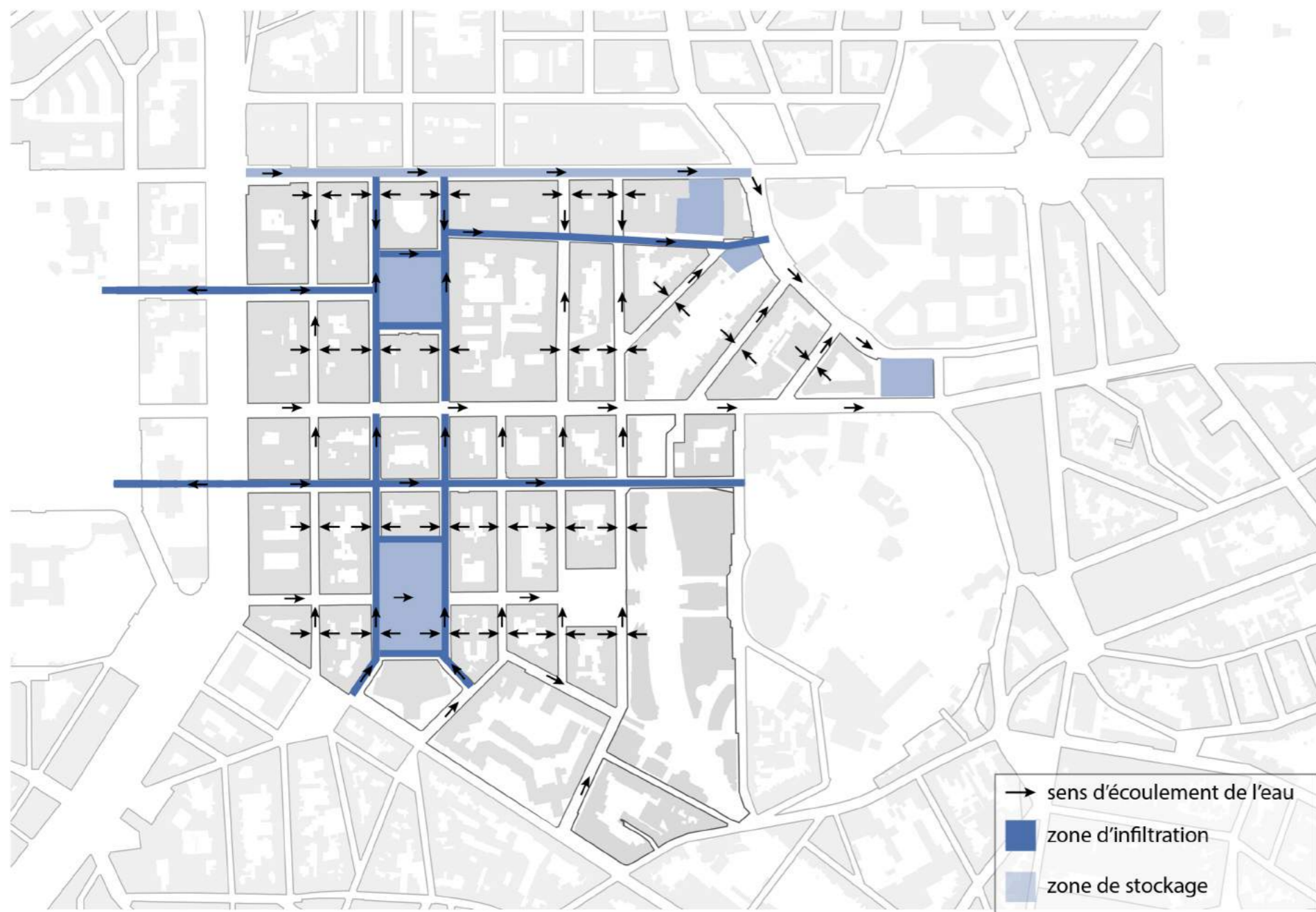


Coupe rue Montoyer

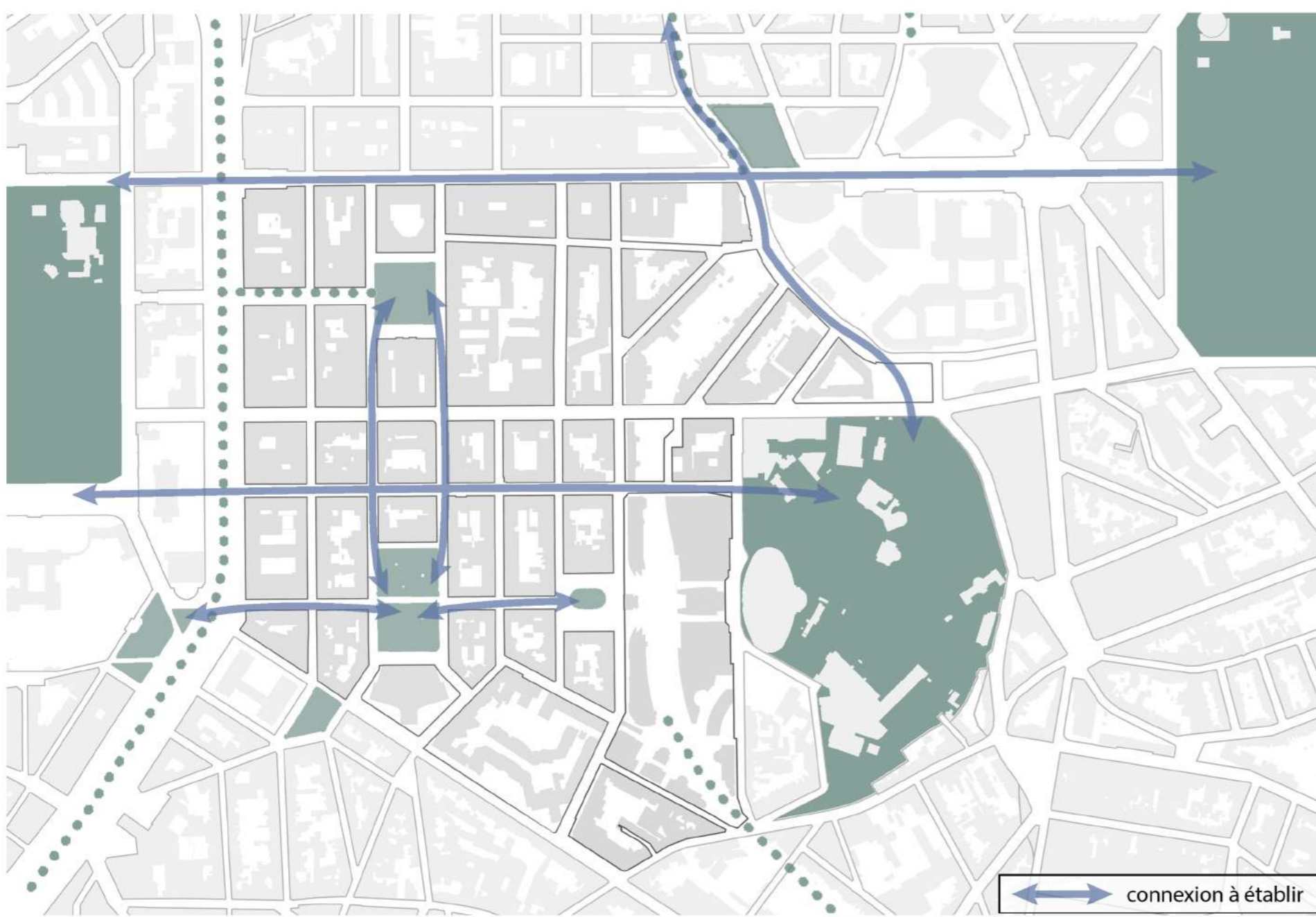
# PROPOSITIONS POUR LE QUARTIER EUROPÉEN FUTUR



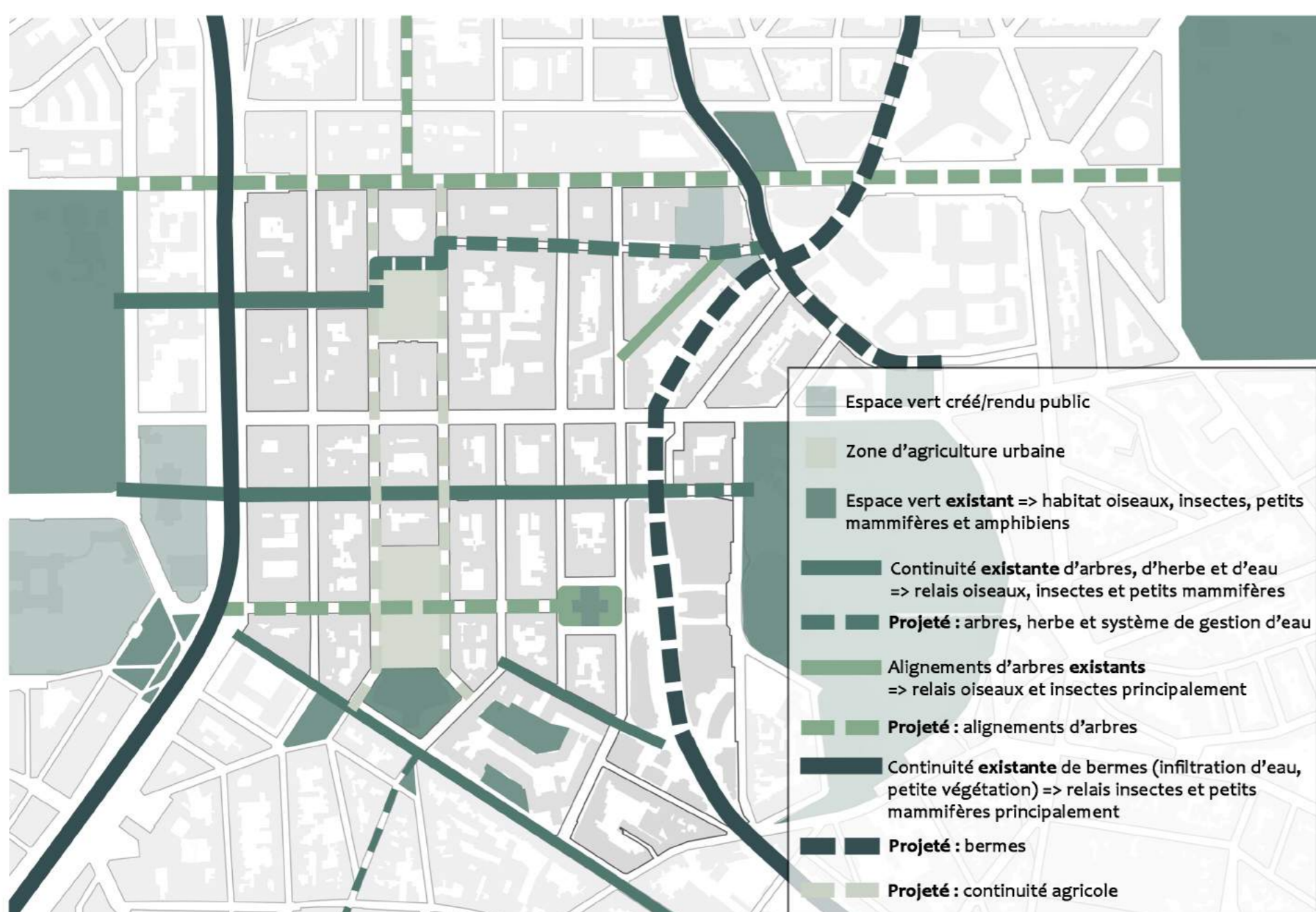
Circulation modifiée et apaisée à l'intérieur des mailles



Gestion de l'eau sans tuyau



Connexions à créer entre les espaces verts

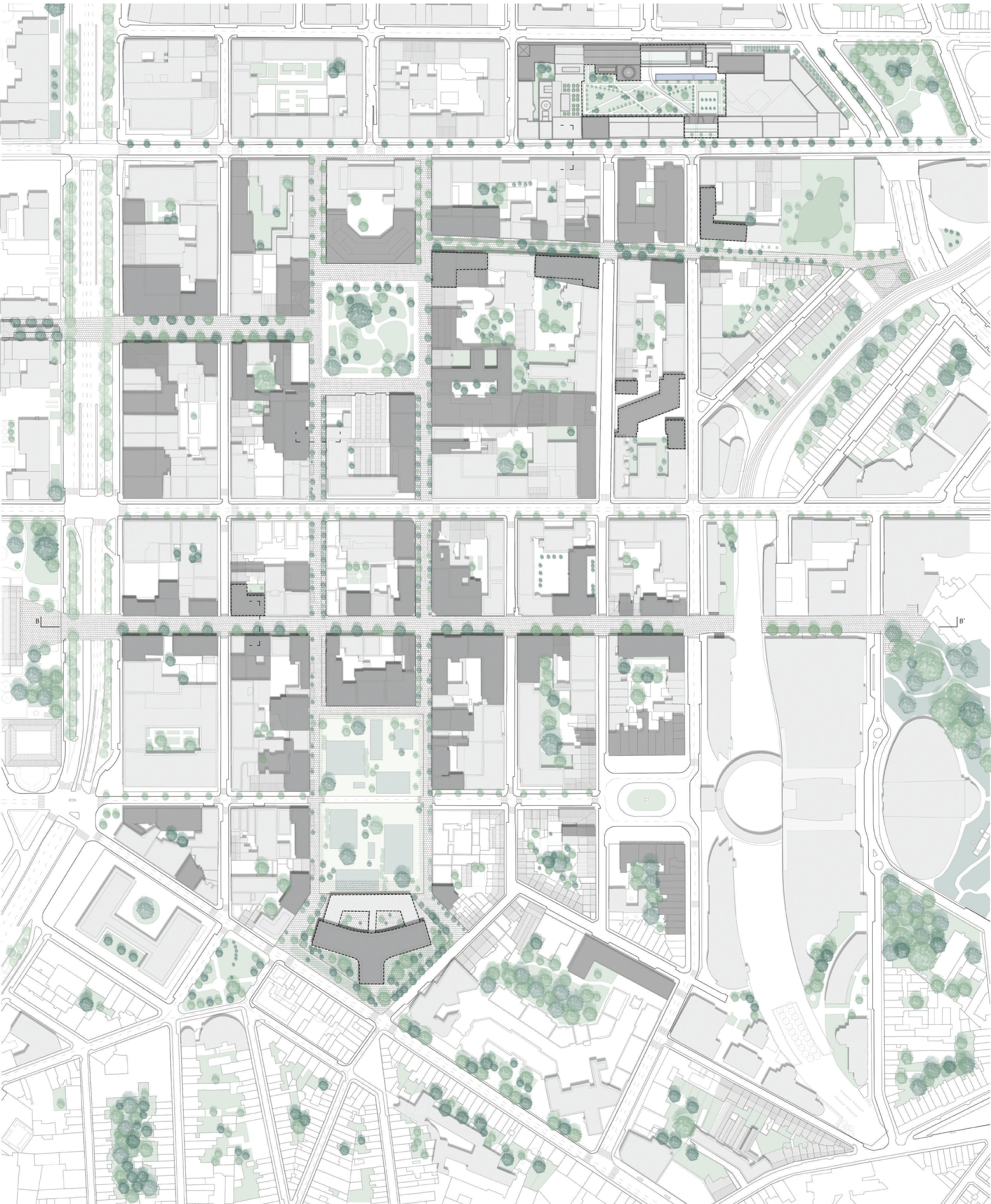


Proposition de couvertures végétales pour assurer ces connexions

# PROPOSITION



Coupe BB'

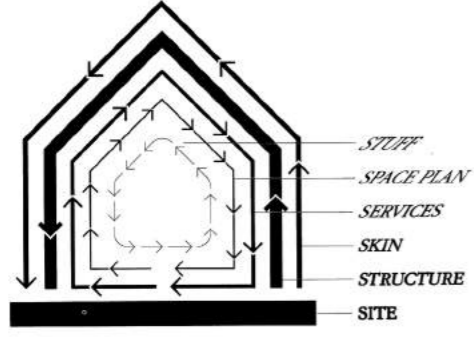


# Les façades démontables zéro déchet: agir pour demain

## Définitions

### Façade démontable

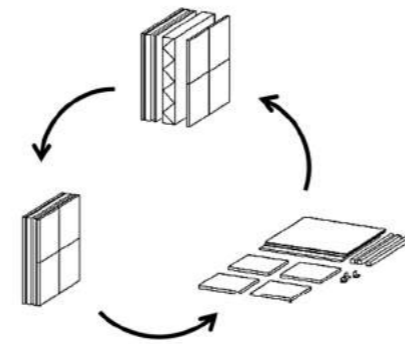
Façade dont les différentes couches, depuis la finition intérieure jusqu'au parement extérieur, peuvent être désassemblées et réassemblées à nouveau.



Source: Stuart Brand

### Zéro déchet

Une façade zéro-déchet doit être fabriquée à partir de matériaux de réemploi ou écologiques pouvant eux-mêmes être réemployés en fin de vie de la façade. Une faible quantité de matériaux recyclables est autorisée (membranes, fixations,...).



Source: Anne Paduart

## Objectifs

### Généraliser

Construire démontable est de nos jours une pratique marginale qui pourrait s'appliquer à tous les bâtiments. Réaliser un guide pratique pour les architectes permettrait de les sensibiliser et de contribuer à un changement de mentalité.



### Améliorer

Rendre meilleur en se basant sur ce qui a été réalisé dans le domaine ou écrit sur le sujet.



Loi 227 (2008) et Aéropolis (2010), Architectes Associés

## Pistes d'action: Comment généraliser et améliorer les façades démontables zéro-déchet ?

### TYPE DE BÂTIMENT

### HAUTEUR SOUS DALLE

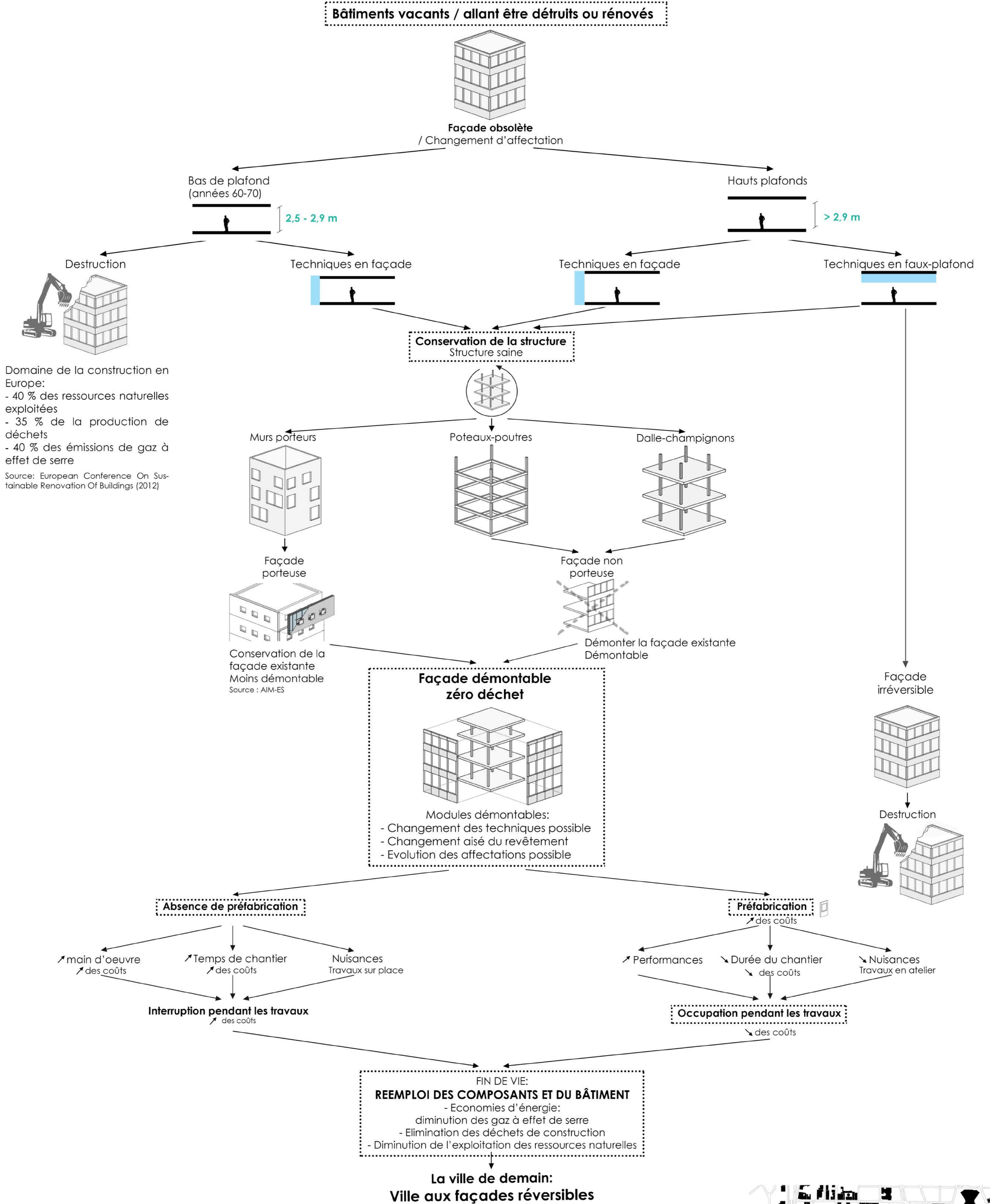
### TECHNIQUES

### TYPE DE STRUCTURE

### TYPE DE FACADE

### TYPE DE CONSTRUCTION

### CONSTATS



- 13 millions de m<sup>2</sup> de bureaux vacants (Anders BÖHLKE, 2013) allant être détruits / rénovés dans des quartiers monofonctionnels.

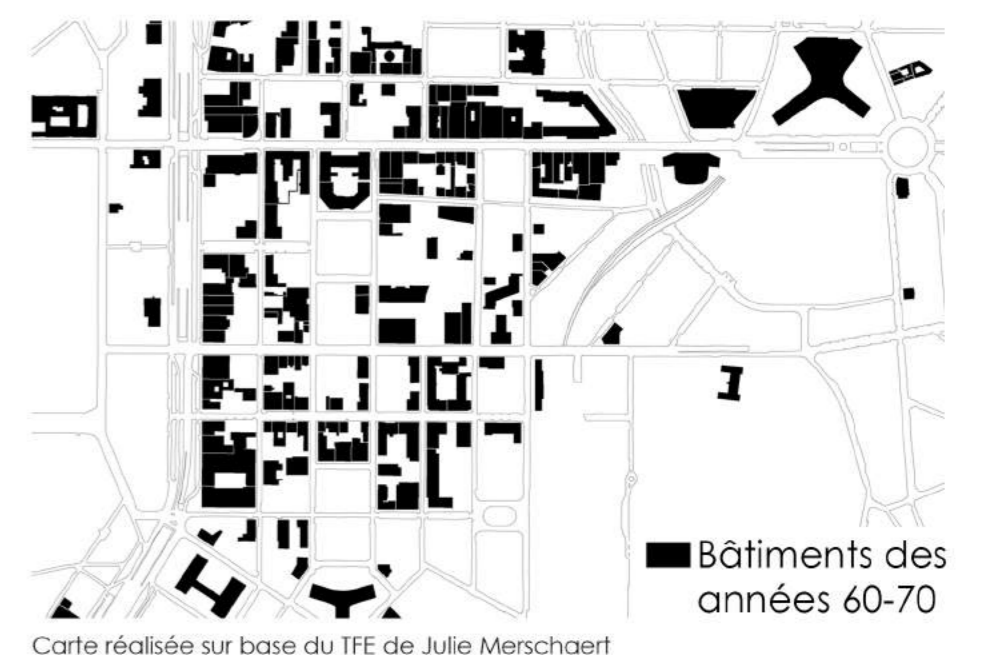
- Bureaux obsolète après 15 ans (BÖHLKE).

- Démontabilité: pratique marginale. Construction traditionnelle irréversible ne s'adaptant pas au changement.

- Intégration de fonctions mixtes dans des immeubles de bureaux bas de plafond

- Techniques en façade

QUARTIER EUROPEEN : Quartier monofonctionnel: Mixité du quartier Revalorisation et identité



Carte réalisée sur base du TFE de Julie Merschaert



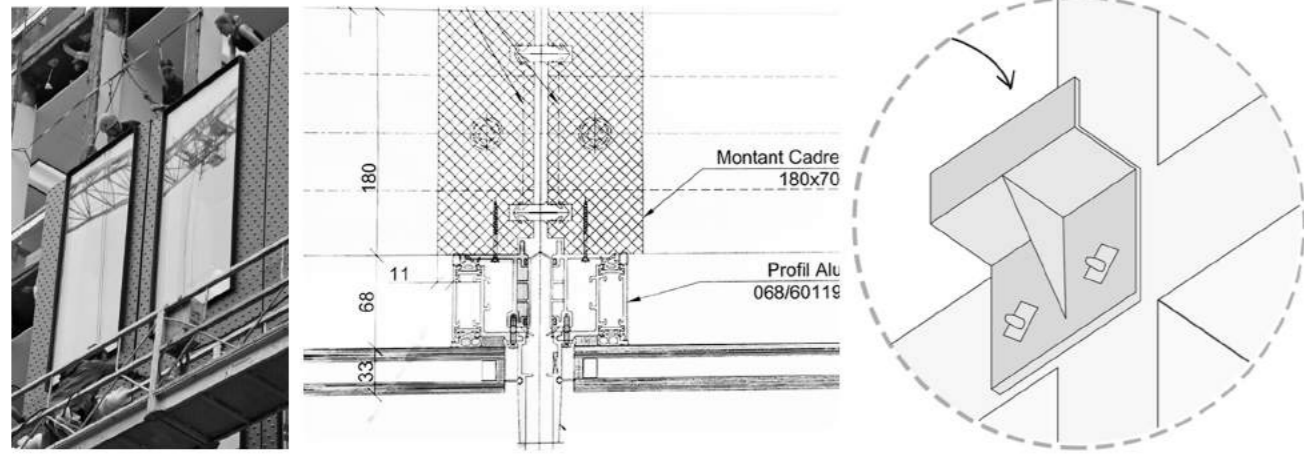
# Catalogue de références

## Critères d'évaluation

<b>BATIMENT</b> 			<b>MODULE DE FACADE</b> 								
 <b>Conservation de la structure</b>	 <b>Réemploi de matériaux d'origine</b>	 <b>Techniques accessibles</b>	 <b>Flexible</b> Plusieurs affectations possibles Zones indépendantes techniquement	 <b>Démontable</b> Couche par couche Module par module Par étage Rapide	 <b>Assemblages secs</b> Simples Complexes Connexions accessibles	 <b>Matériaux</b> Réemployables Durables Biosourcés Locaux Recyclables Légers	 <b>Transportable en camion</b>	 <b>Manutention aisée</b>	 <b>Préfabrication</b> Durée de chantier courte Grandes performances Diminution des nuisances Occupation pendant les travaux		

## Projets de façades démontables et/ ou zéro déchet

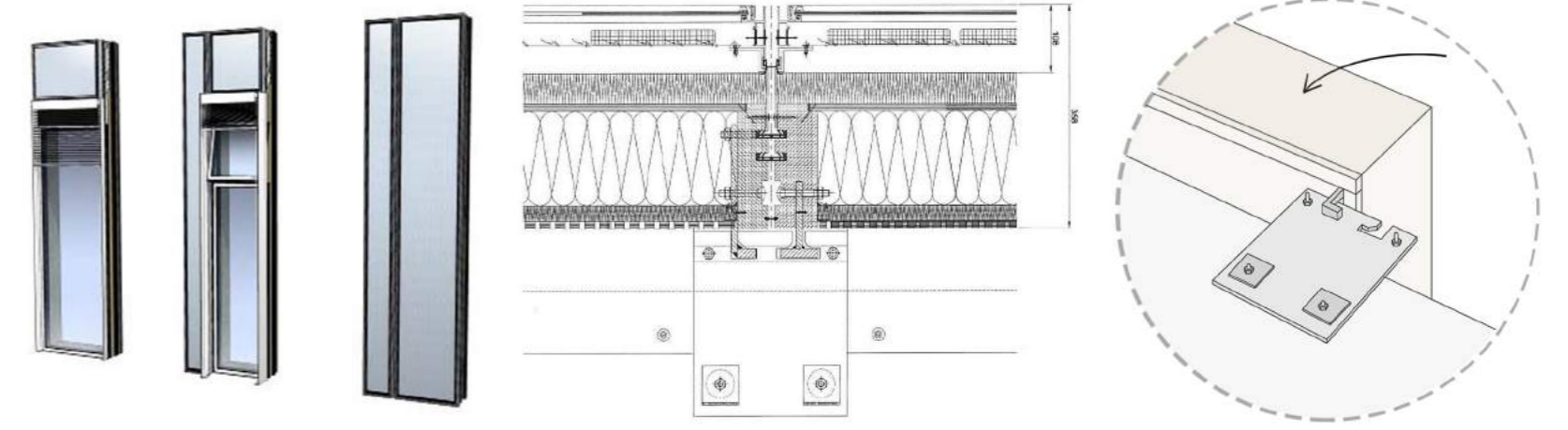
### Loi 227 - Architectes Associés



Conservation de la structure en béton  
 Occupation pendant le chantier : "5 jours pour une nouvelle peau"  
 Cadre préfabriqué : pérenne  
 Modules de 1,6 m : manipulation aisée  
 Matériaux : métal : production énergivore



### Aéropolis 2 - Architectes Associés



Projet neuf passif  
 Modules préfabriqués trop étroits (90cm): déchets et prix élevés  
 Variété de modules : dynamisme  
 Cadre : pérenne



### Elia - Architectes Associés



Caissons préfabriqués : démontage rapide  
 Jonction: superposition de membranes  
 Moins pérenne que les cadres



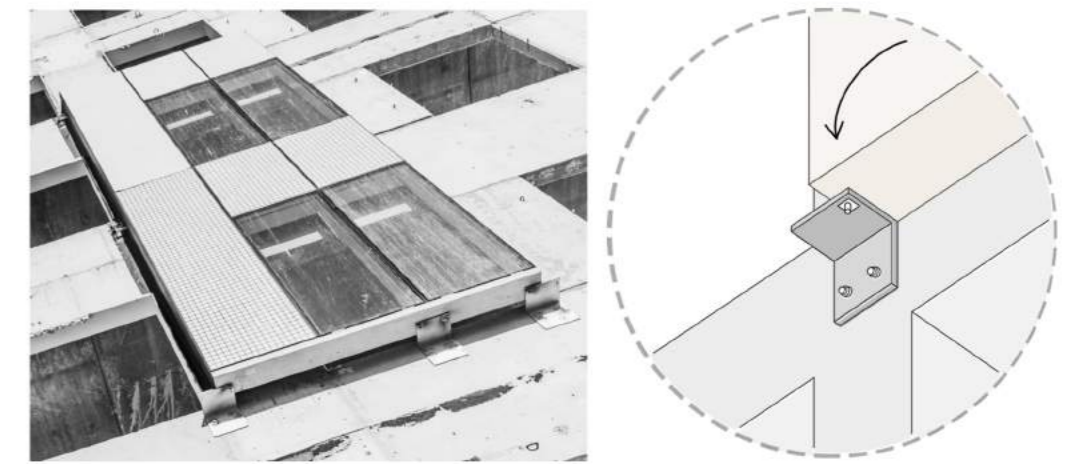
### Greenbizz - Architectes Associés



Caisson: beaucoup de membranes  
 Membrane déchirée: usage de silicone  
 Incendie: démontage aisé et rapide  
 Revêtement en bois  
 Cellulose en vrac: tests de densité et propagation de l'incendie



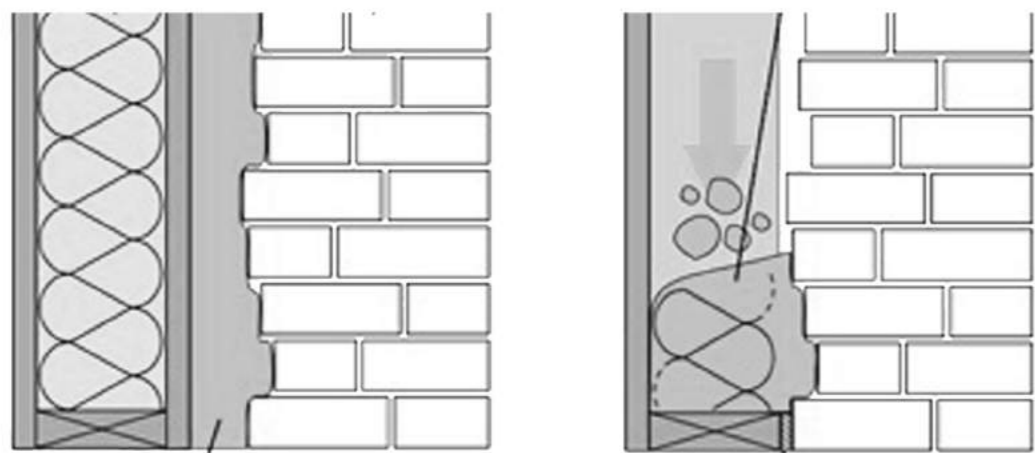
### HD54 - Architectes Associés



Conservation de la structure: voile de béton percé (cher)  
 Modules préfabriqués  
 Réemploi: relations du bureau  
 Mosaïque: non recyclable et main d'oeuvre importante



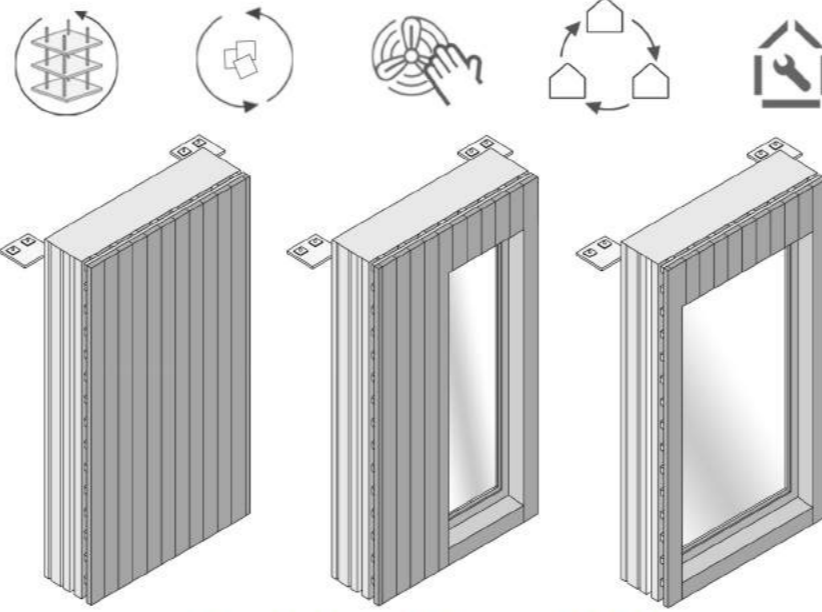
### AIM-ES - Brussels Retrofit XL



Enveloppe les murs porteurs : isolation par l'extérieur  
 Matériau inutile et invisible derrière le module  
 Occupation pendant le chantier  
 Cher et couche d'adaptation: moins démontable



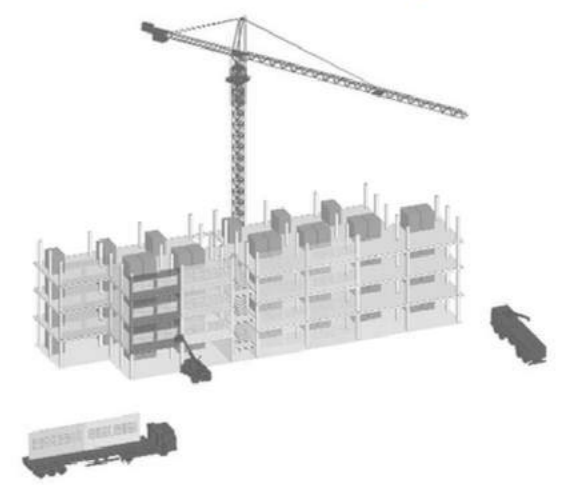
### Modules démontables zéro déchet



Conservation de la structure en béton  
 Occupation pendant le chantier (court)  
 Cadre préfabriqué : pérenne  
 Variété de modules  
 Cellulose en matelas  
 20-30 cadres par jour  
 Maintenance aisée



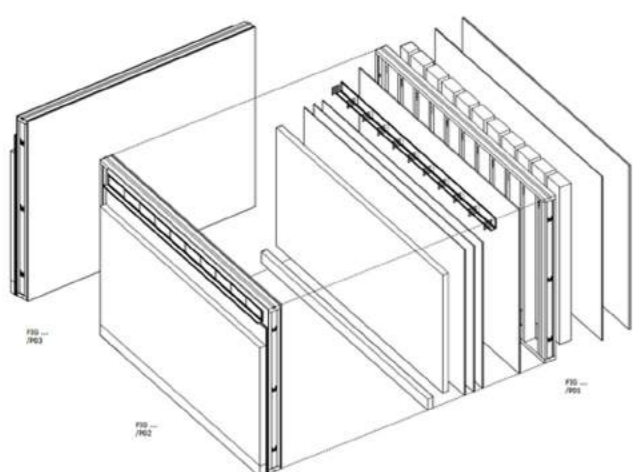
### Cité Internationale de Cuques- Canal



Profondeur de 12 m : plusieurs affectations possibles  
 Transformation: conservation de 90 % des éléments  
 Coûts : 10% de moins que façade traditionnelle  
 Chantier 40% plus court  
 Maintenance aisée



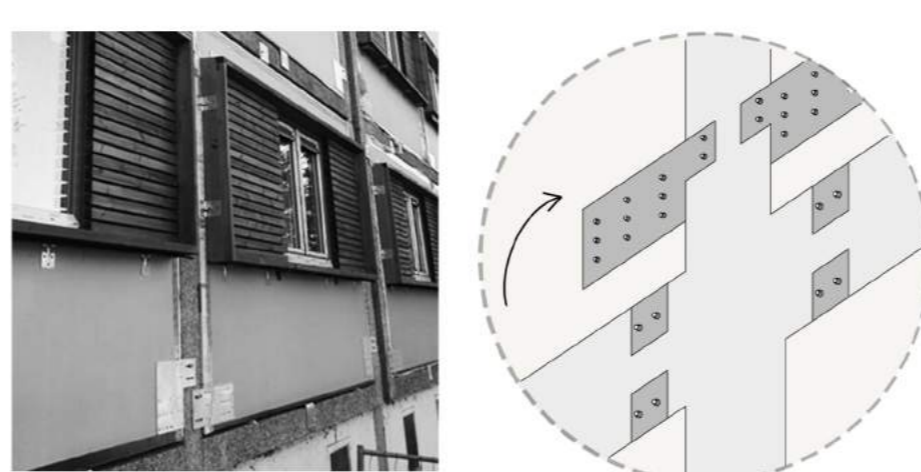
### CIMEDE - Ateliers de l'Avenir



Pose: 30 caissons préfabriqués en un jour  
 Diminution de la durée de chantier  
 Grande précision en atelier  
 10 % de surcoûts  
 Standardisation des matériaux  
 Maisons évolutives



### Cuesmes - Ateliers de l'Avenir



Conservation de la structure  
 Occupation pendant le chantier  
 Modules entre colonnes: agrafes métalliques  
 Raccord d'isolation par l'intérieur  
 Caisson : beaucoup de membranes



### Tournesols - Ateliers de l'Avenir



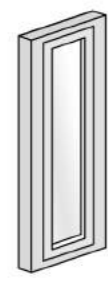
Conservation de la structure  
 240 caissons, 7 types différents  
 Briquette: rarement réemployée  
 Façade uniforme, modules invisibles



# Outils pour une façade démontable zéro déchet

Sensibilisation et information des architectes

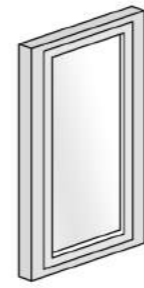
## Dimensionnement des modules



0,9 - 1,2 m

Petits modules

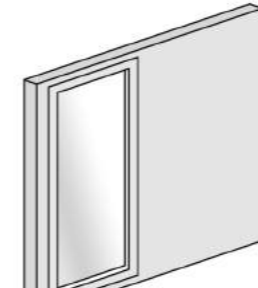
- Perte de place dans le transport.
- Profils à usiner, joints et finitions.
- Coûts.
- Grande modularité.
- Manutention aisée.



1,3 - 1,8 m

Modules moyens

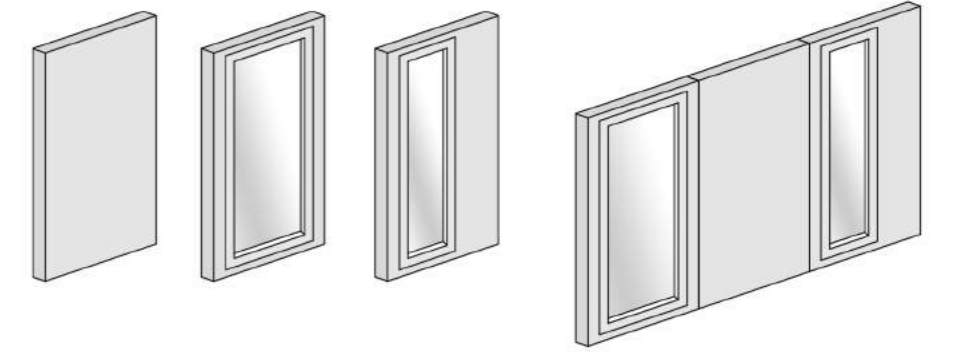
- Dimensions idéales pour le transport
- Pas de perte de place → nombre de trajets.
- Economique.
- Manipulation aisée.
- 2 modules forment une pièce (+- 2,7m).



1,9 - 6 m

Grands modules

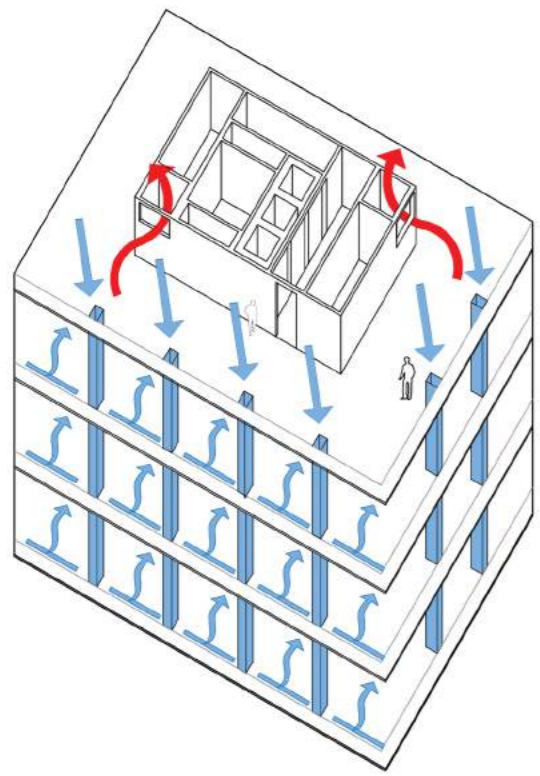
- Moins de flexibilité.
- Manutention & mise en œuvre compliquées.
- Chantier très rapide.
- Démontage compliqué.
- Transport compliqué.



Autres facteurs:

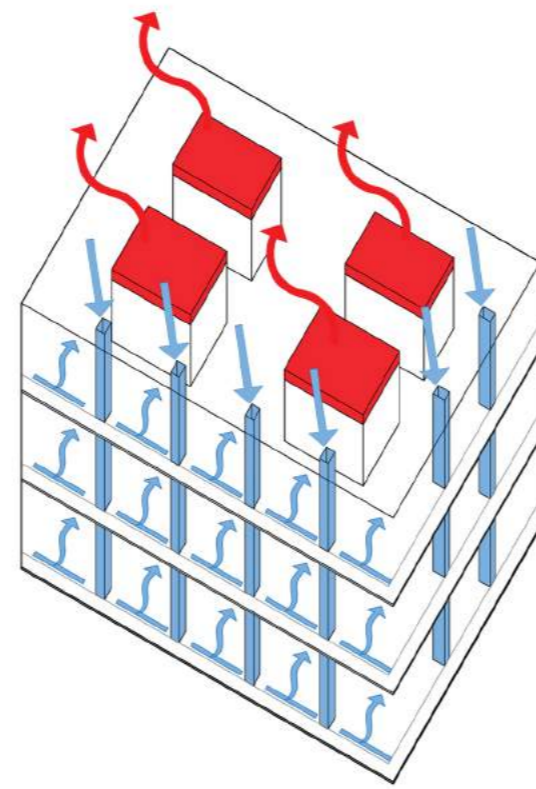
- Plusieurs types de modules :
- Plus de modularité
- Amoindri le côté répétitif
- Réponse plus appropriée pour la pièce
- Dimensions selon les matériaux:
- Vitrage: 3,2 x 6m et OSB: 2,5 / 2,25 x 6,2 / 12,5

## Techniques de ventilation



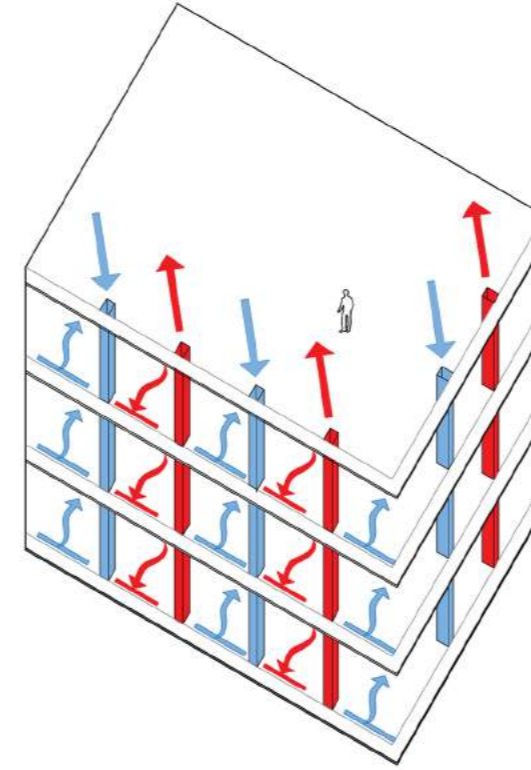
1. Alimentation en toiture par les façades  
Extraction en gaine centrale

Cloisonnement intérieur impossible.  
Bonne répartition de l'air.



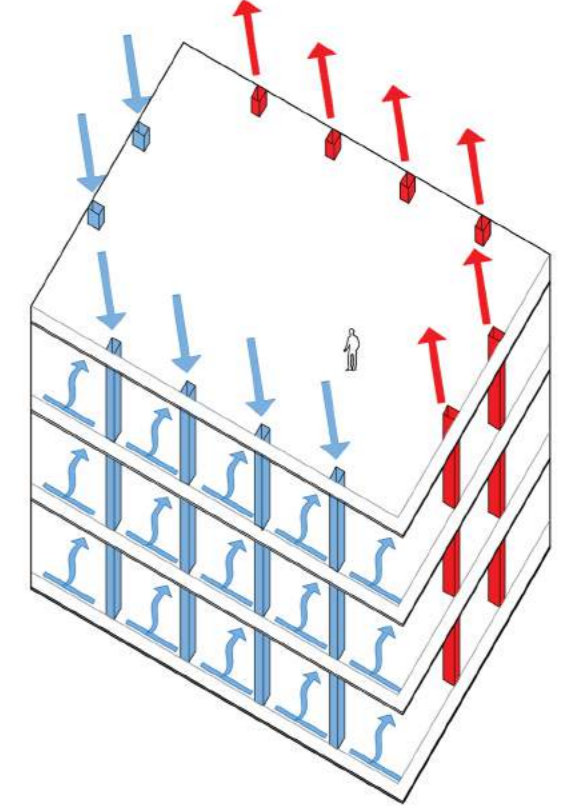
2. Alimentation en toiture par les façades  
Extraction en faux plafond dans les sanitaires

Espaces de service au centre



3. Alimentation en toiture par les modules  
Extraction en toiture par les modules voisins

Air pur neuf réparti de manière non homogène



4. Alimentation en toiture par les façades Sud, Ouest  
Extraction en toiture par les façades Nord, Est

Espaces traversants obligatoires  
Bonne répartition de l'air

## Matériaux écologiques préconisés

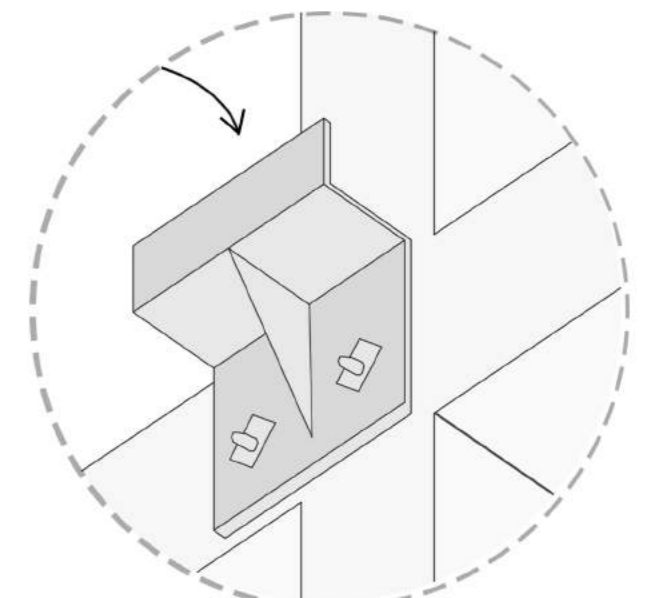
- Réemployables et recyclables
- Sains
- Production peu énergivore
- Locaux
- Durables
- Purs

- 1) Le bois: pin d'Orégon, SVL, LBL, OSB, etc.
- 2) La terre cuite, les roches naturelles, le verre de réemploi, le bois
- 5) La cellulose, fibre de bois, laine de verre et de roche

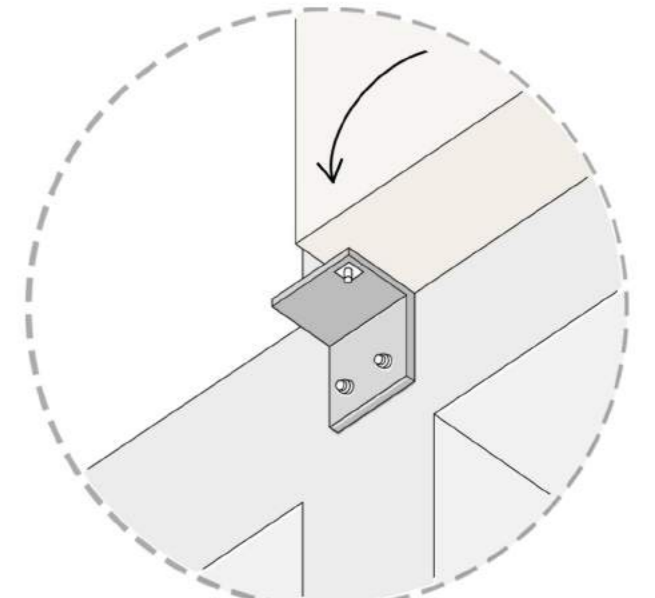
## Assemblages démontables

- Assemblages secs
- Assemblages mécaniques sans eau
- Pièces supplémentaires éventuelles
- Préparé en atelier
- Simples, faciles d'accès, outils maniables, matériaux solides
- Couches distinctes.

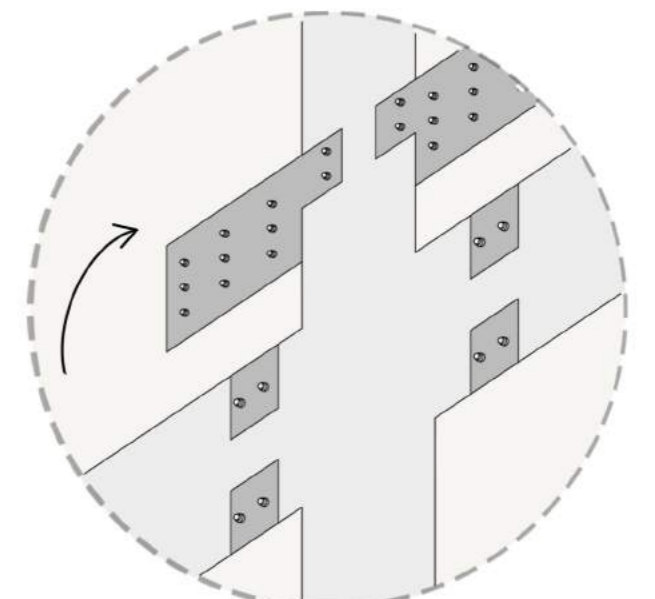
## Accroches à la structure



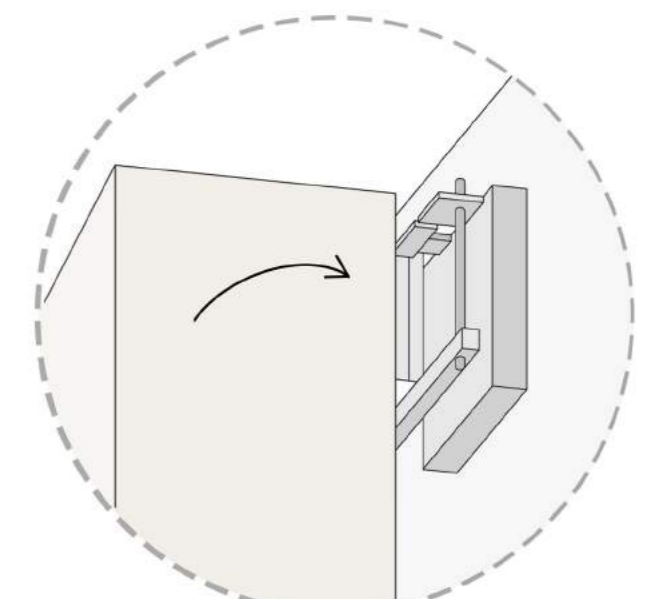
Accroches entre colonne et dalle



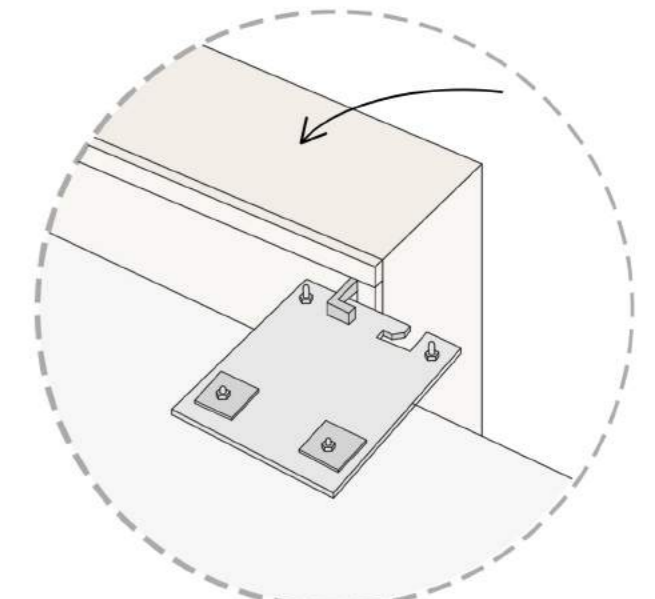
Equerre entre colonne et dalle



Modules entre colonnes



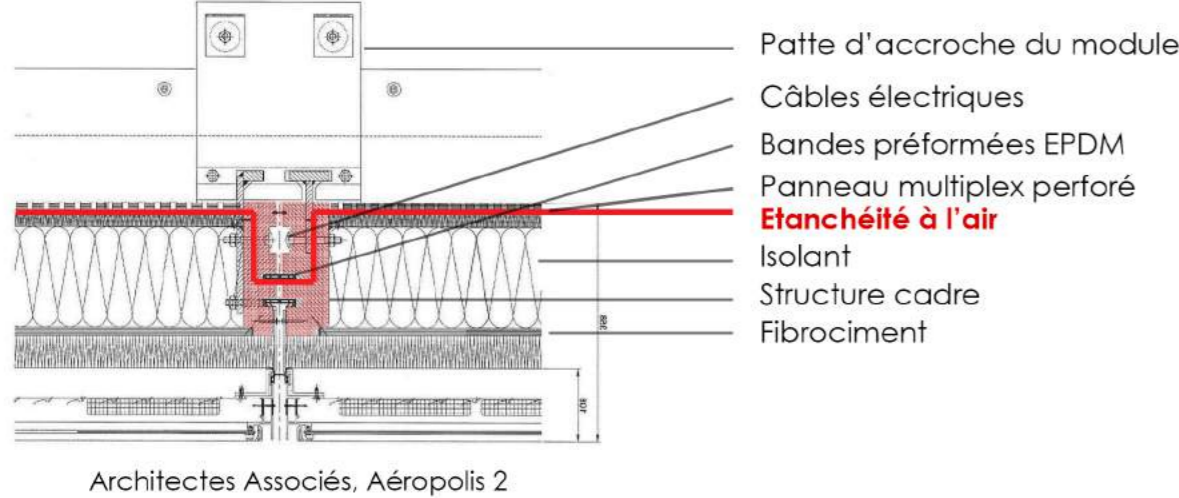
Patte d'accroche entre colonne et dalle



Patte d'accroche à la dalle

## Systèmes constructifs

CADRE



Matériaux

- Patte d'accroche du module
- Câbles électriques
- Bandes préformées EPDM
- Panneau multiplex perforé
- Etanchéité à l'air
- Isolant
- Structure cadre
- Fibrociment

Architectes Associés, Aéropolis 2

Tolérance possible

Temps de démontage : 1/2 jour.

Plusieurs outils.

Jonction entre les cadres : serrage mécanique

Très durable

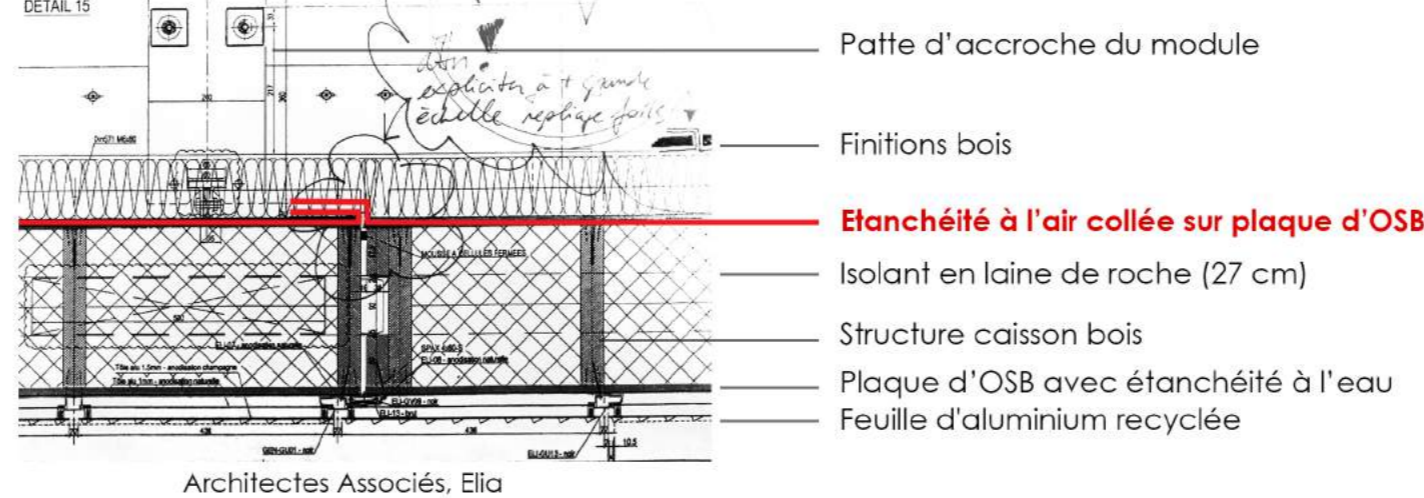
Coût plus élevé

Peu de membranes pétrochimiques

Complexe

Source: Sabine Leribaux.

CAISSON



Matériaux

- Patte d'accroche du module
- Finitions bois
- Etanchéité à l'air collée sur plaque d'OSB
- Isolant en laine de roche (27 cm)
- Structure caisson bois
- Plaque d'OSB avec étanchéité à l'eau
- Feuille d'aluminium recyclée

Architectes Associés, Elia

Tolérance difficile

Temps de démontage rapide.

Outils simples

Jonction entre les caissons fragile (tape).

Moins durable.

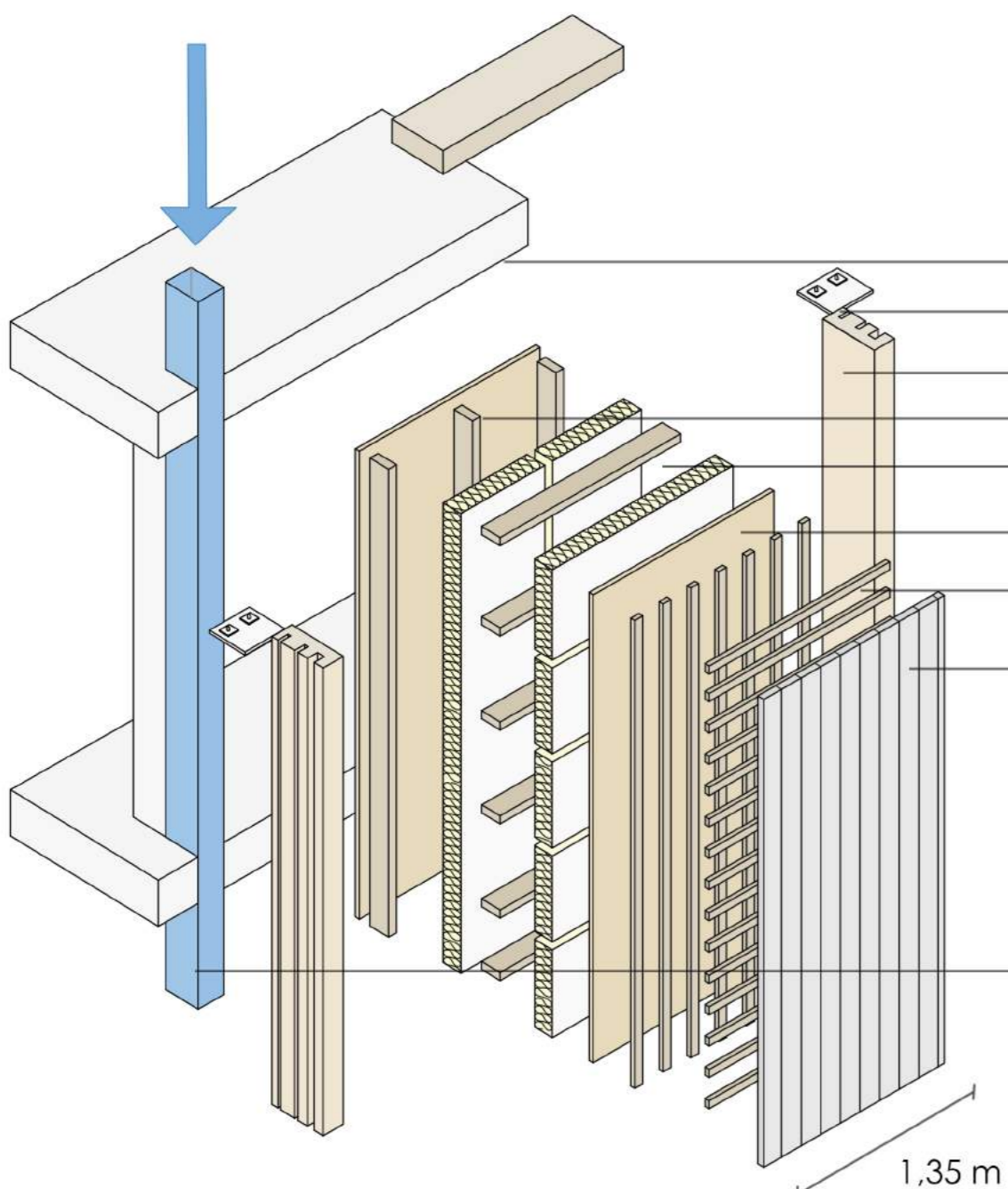
Coût moins élevé.

Grande quantité de membranes

Simple, hormis la jonction des modules.

## Conclusion: proposition de module

Système cadre. Module moyen.  $U = 0,13 < 0,15$



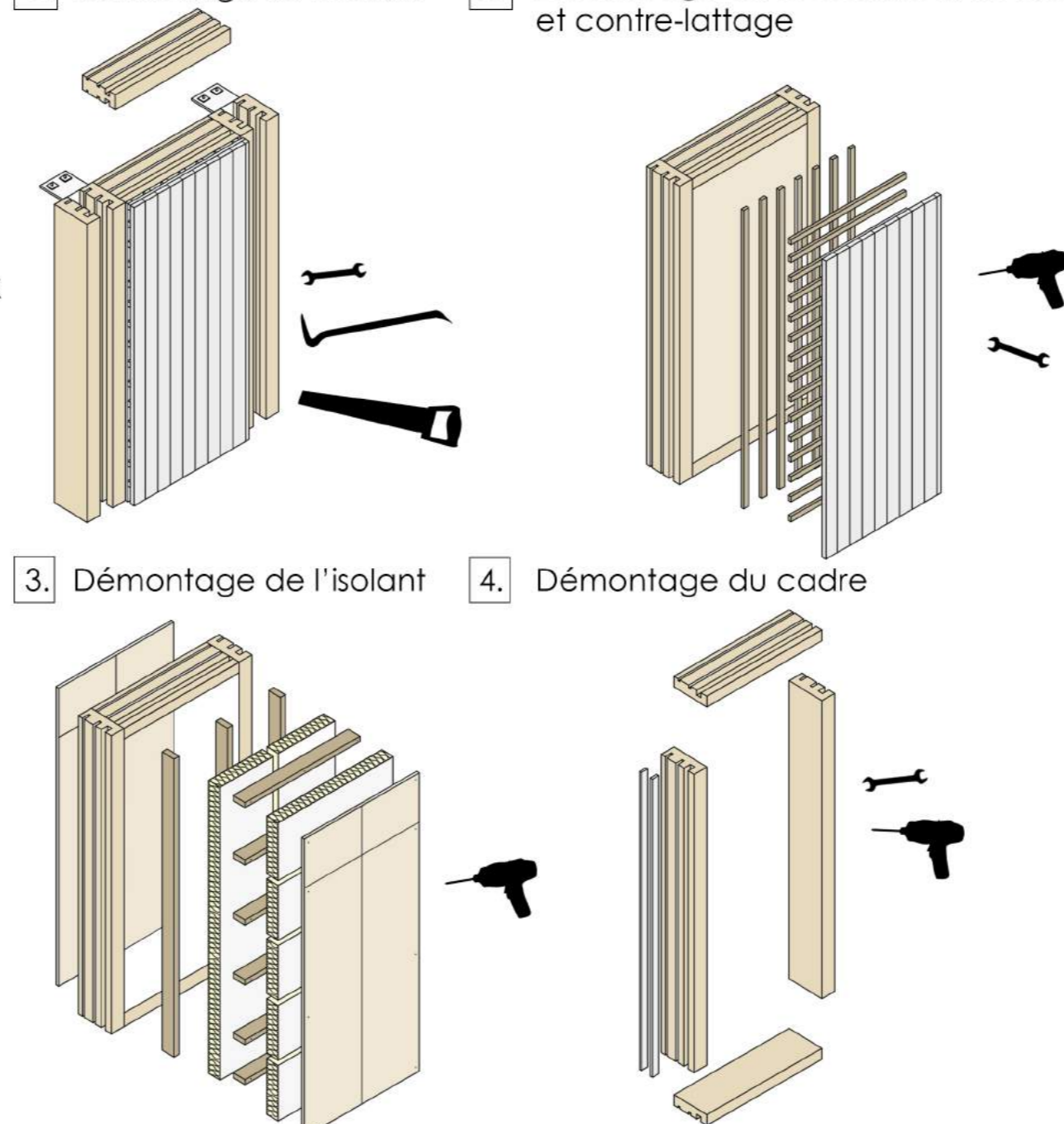
- Dalle existante 0.25m  $U=7.63W/m^2K$
- Patte d'accroche 0.01m  $U = 5000 W/m^2K$
- Pin d'Orégon 0.30m  $U = 0.4 W/m^2K$
- OSB 0.018m  $U = 7.22 W/m^2K$
- Cellulose 0.28m  $U = 0.143 W/m^2K$
- Dwd 0.015m  $U=5.47W/m^2K$
- Lattage 0.03m  $U=1.25W/m^2K$
- Bois brûlé 0.03m  $U = 12 W/m^2K$

Alimentation en façade  
Extraction en façade opposée / en sanitaires

1,35 m

## Manuel de démontage

1. Démontage du module
2. Démontage du revêtement, du lattage et contre-lattage
3. Démontage de l'isolant
4. Démontage du cadre



Juliette Delfosse

Retour critique de façades démontables zéro-déchet

# 10 rue Montoyer, 1000 Bruxelles

Ce bâtiment de bureau pourrait être prochainement détruit en raison de sa faible hauteur entre dalles de 2,7m. Mon objectif est d'éviter sa destruction en remplaçant sa façade par une façade démontable zéro déchet intégrant la technique.

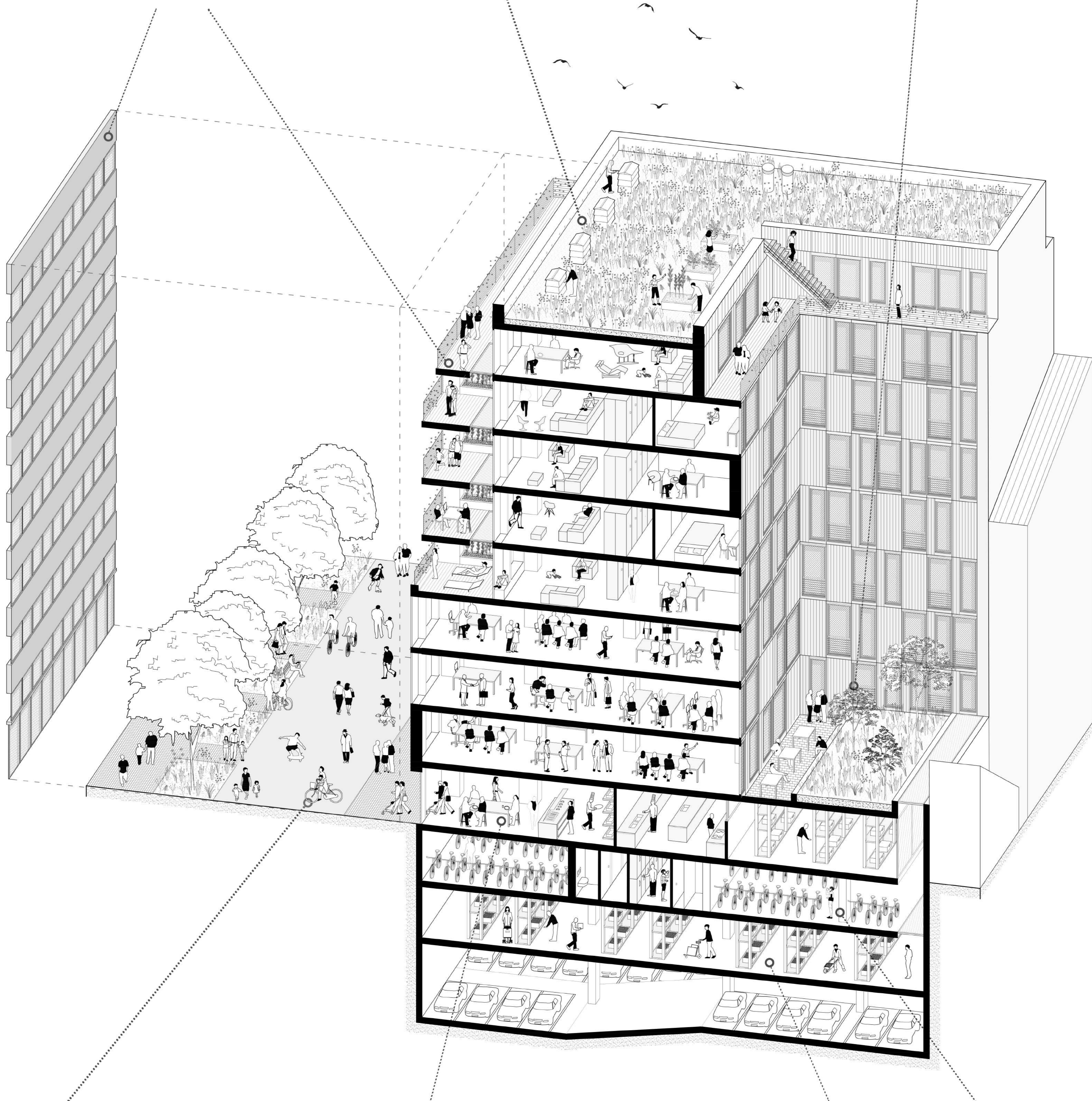
## Rénovation zéro déchet

La façade existante se compose de châssis âgés de 5 ans, tout à fait réemployables. Ils pourraient prendre place dans un projet du quartier comme une rénovation ou encore un projet de serre. Le reste de la façade consiste en des panneaux de béton uniquement recyclables. Les dalles sont conservées et percées plutôt que de créer une nouvelle structure afin de former des terrasses.

## Biodiversité

La création d'une toiture verte permet d'amener facilement plus de biodiversité, d'absorber une partie de l'eau de pluie mais aussi de purifier l'air pollué du quartier. Des nichoirs sont intégrés dans les acrotères pour les martinets.

Le quartier européen est un quartier de bureaux très urbanisé présentant peu d'espaces verts en intérieur d'îlot. La création d'un jardin au premier étage permet d'augmenter le coefficient de biotope par surface. Cette espace de végétation de 82 mètres carrés permet d'accueillir des espèces végétales mais également que les travailleurs profitent d'un espace extérieur agréable lors de leurs pauses.



## Mobilité

La rue est rendue principalement piétonne, avec un accès possible pour les véhicules d'urgence. Cet espace partagé permet aux logements de se tourner vers l'espace public et non de se protéger de lui, entraînant le contrôle social de la rue. De plus, cela permet aux logements de profiter de terrasses au Sud.

## Mixité

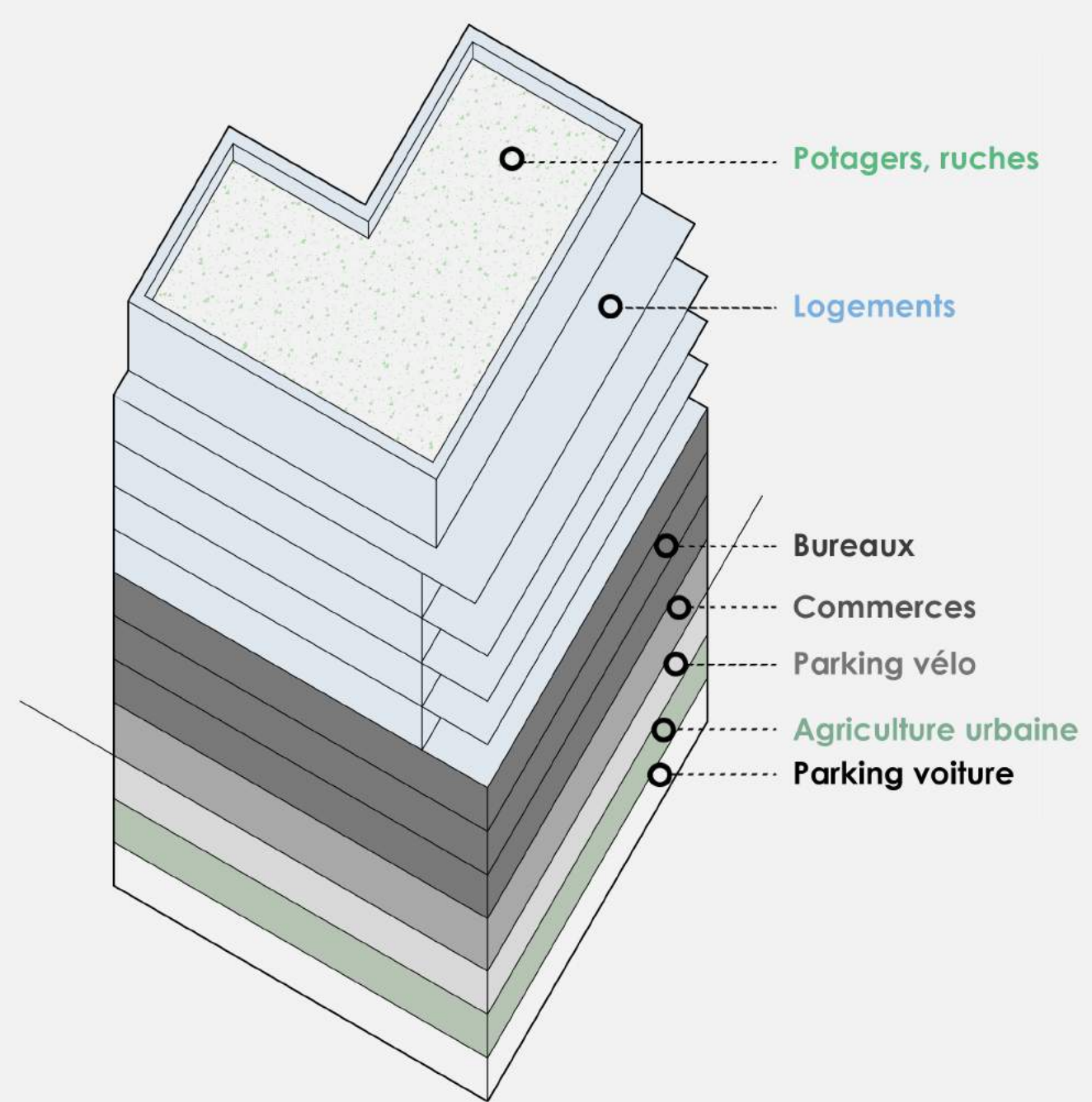
Le quartier européen constitue un pôle monofonctionnel composé pratiquement uniquement de bureaux. La rénovation d'un immeuble bas de plafond tel que celui-ci permet de créer une fonction mixte comportant logements, bureaux et commerces afin de régler les problèmes d'insécurité et le manque d'animation du quartier.

## Agriculture urbaine

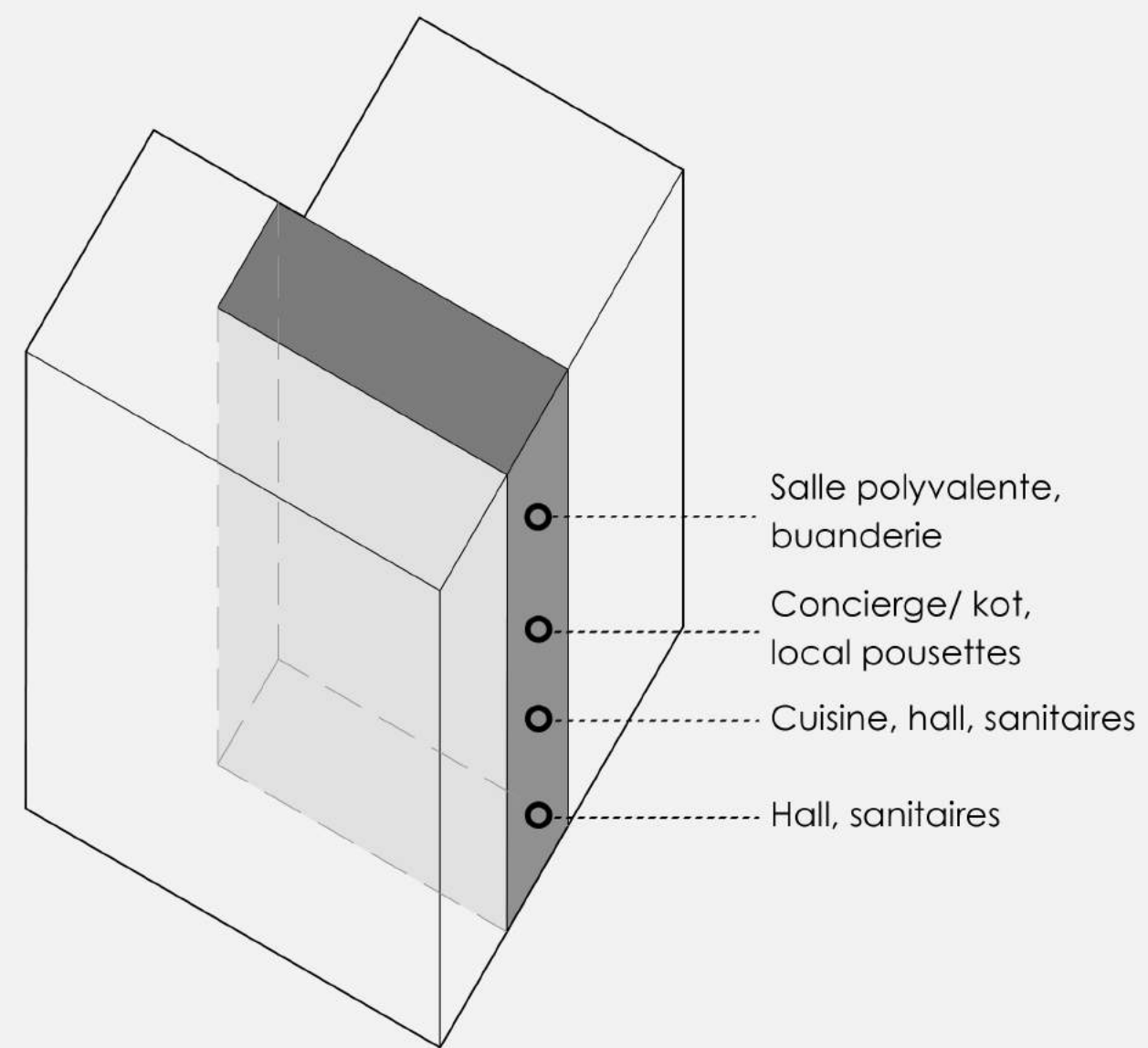
Comment reconvertir des espaces en sous-sol ? La culture de légumes capables de pousser sans lumière naturelle tels que les champignons semble idéale pour créer du lien tout en produisant.

## Mobilité

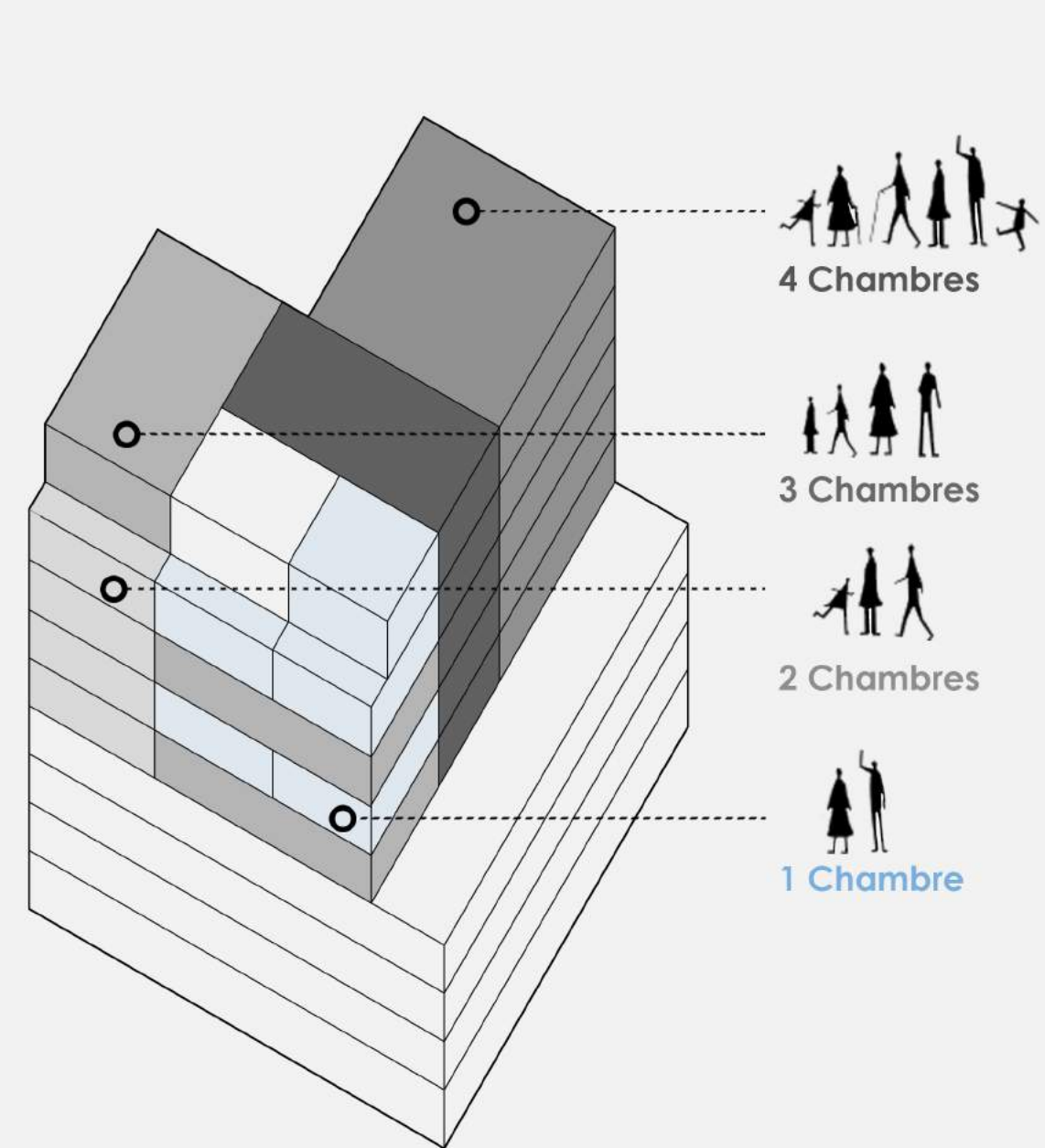
Les trois étages de parkings ne sont plus dédiés aux voitures. Ils présentent désormais également un parking vélo comportant une partie publique et une partie commune.



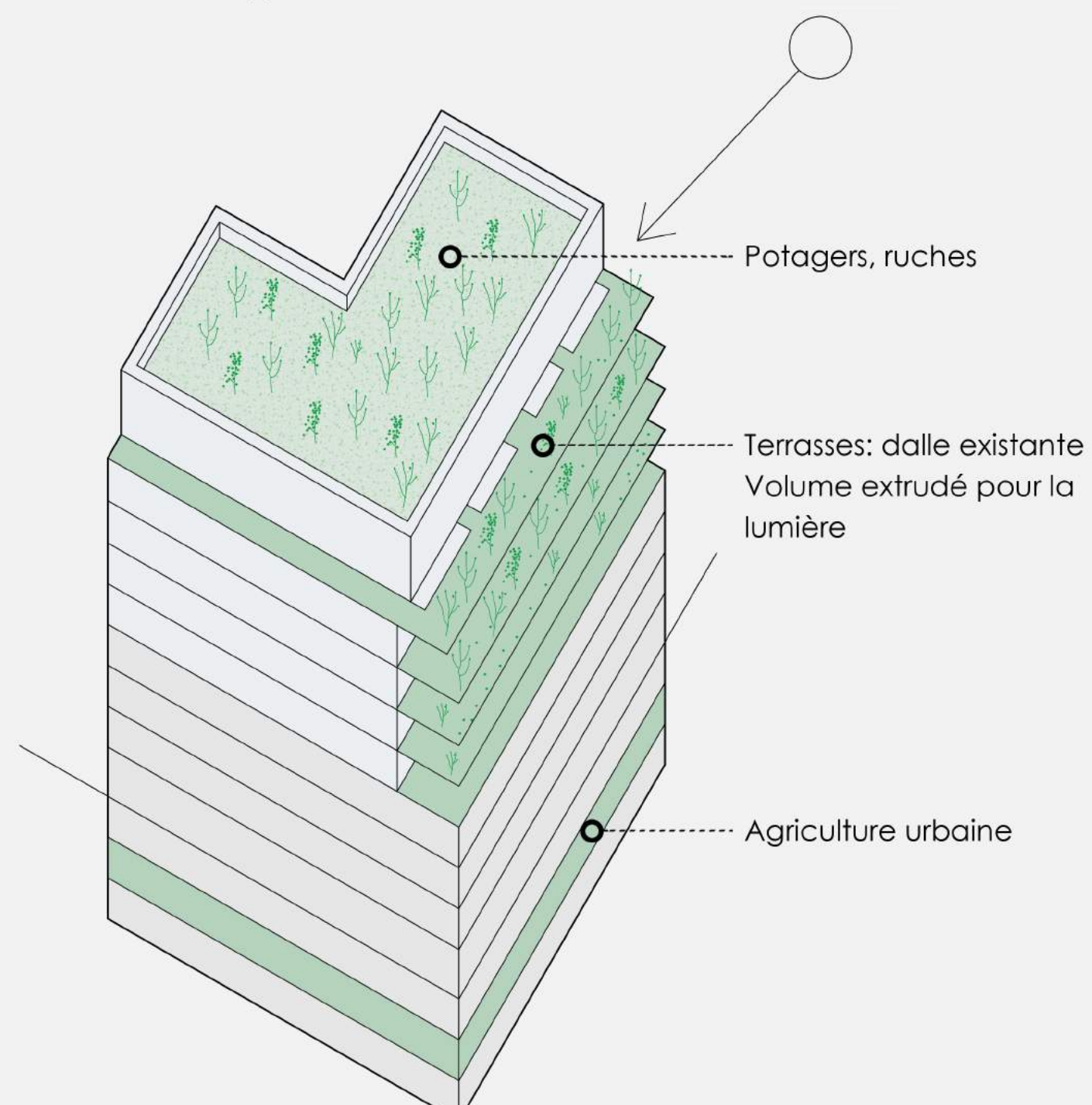
Mixité de fonctions



Noyau de service  
Mutualisation d'espaces

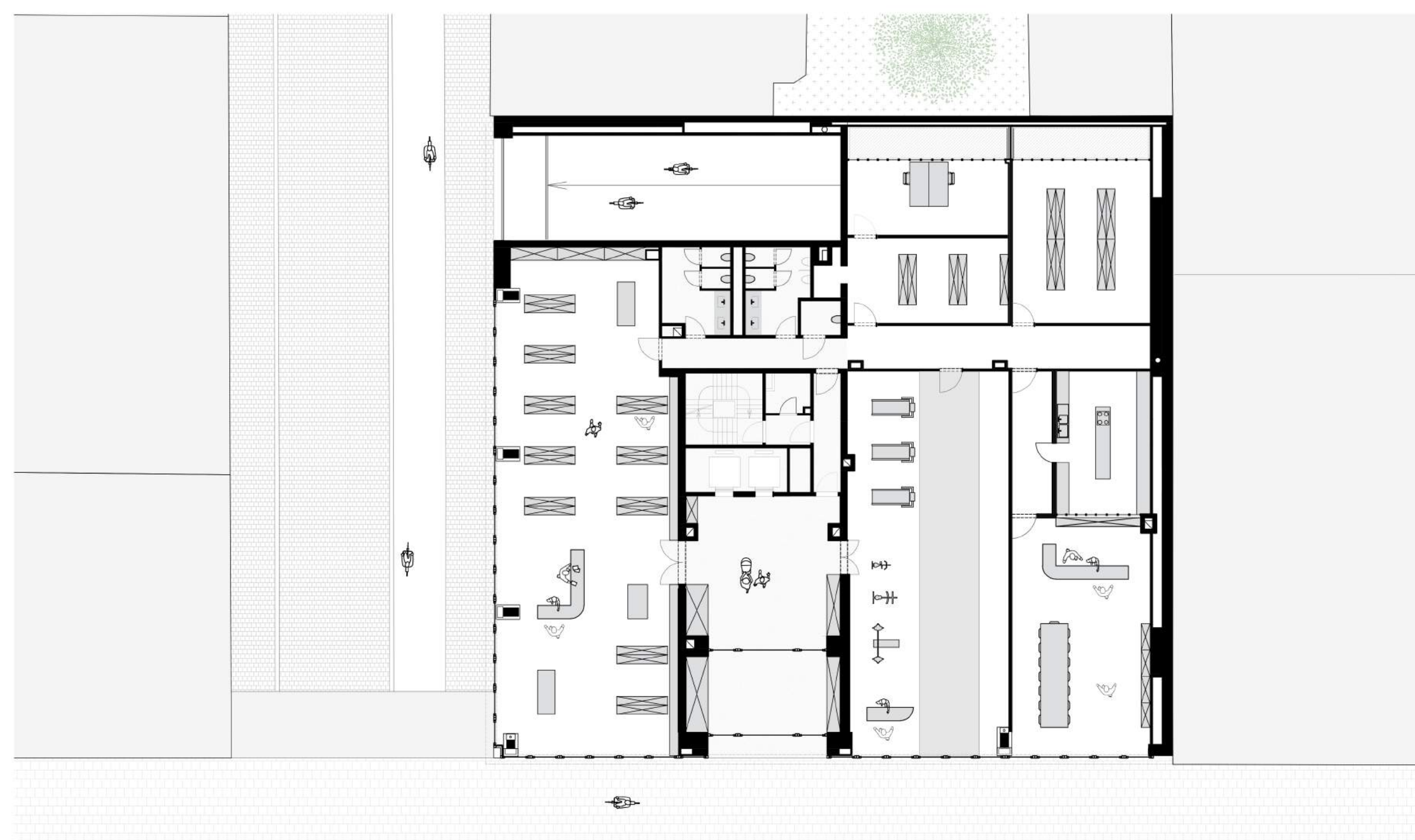


Mixité d'appartements



Biodiversité et terrasses

Les plans ne peuvent être divulgués.



Plan 0



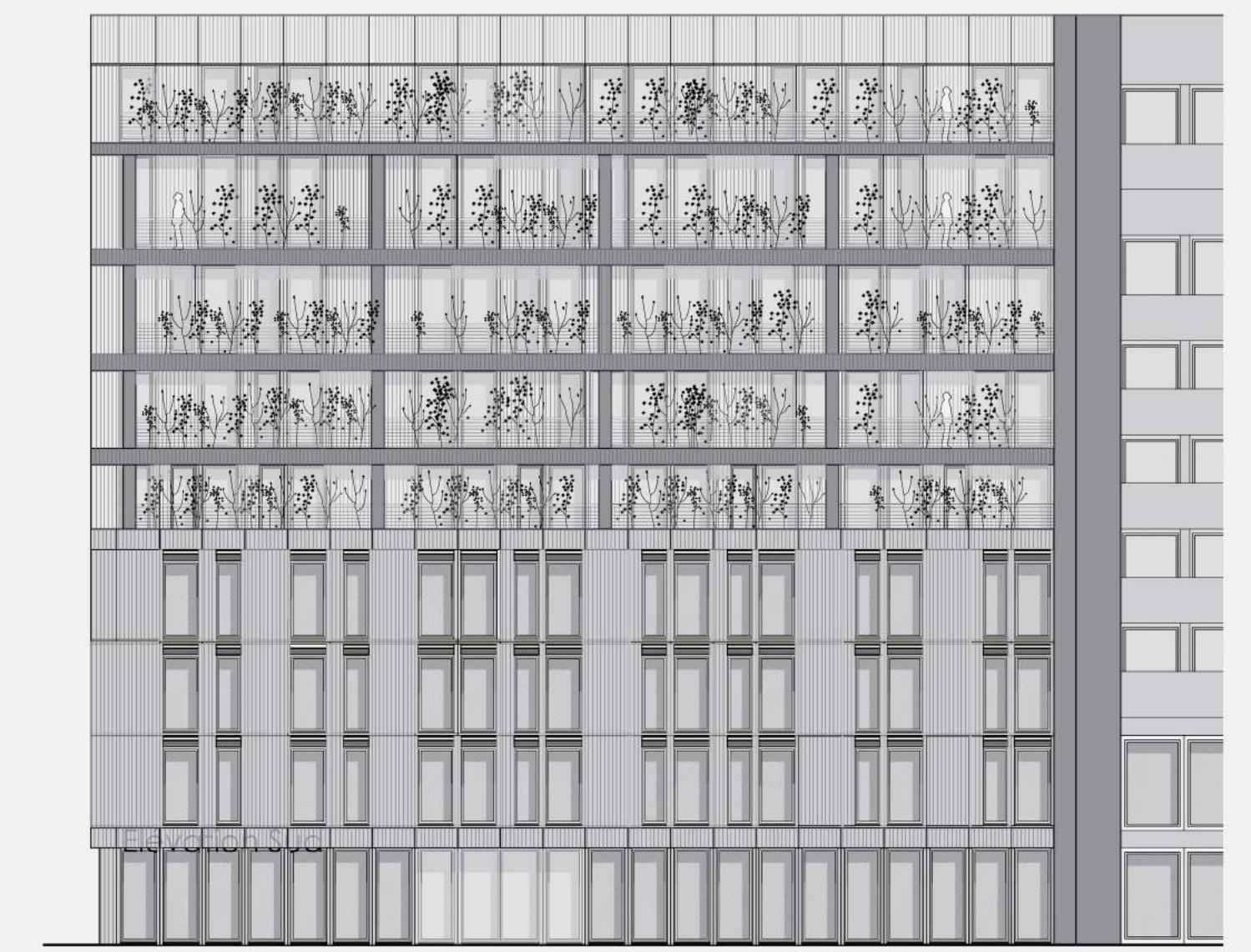
Plan + 1, 2, 3



Plan + 4, 6



Plan + 5, 7



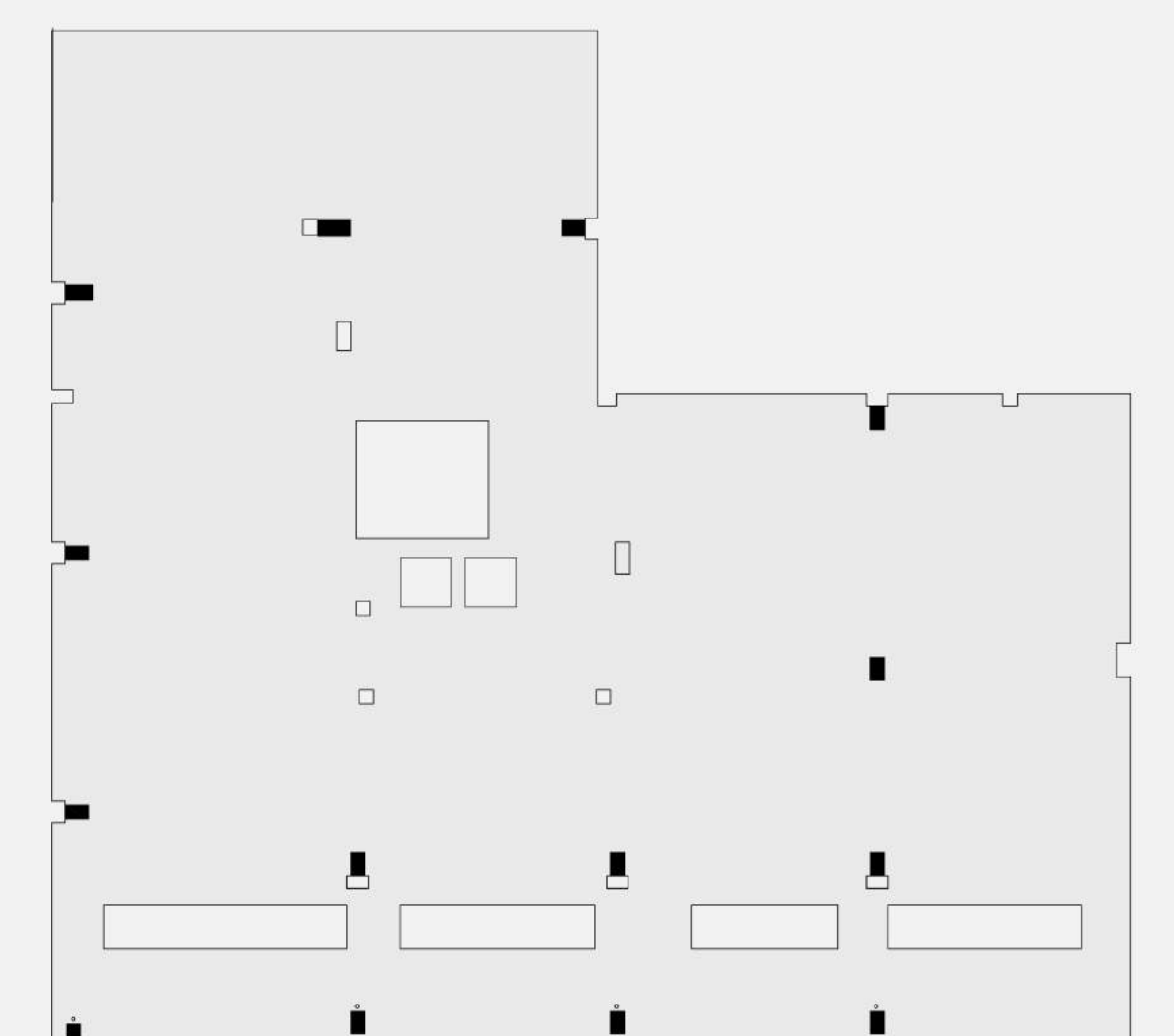
Élévation Sud



Élévation Est

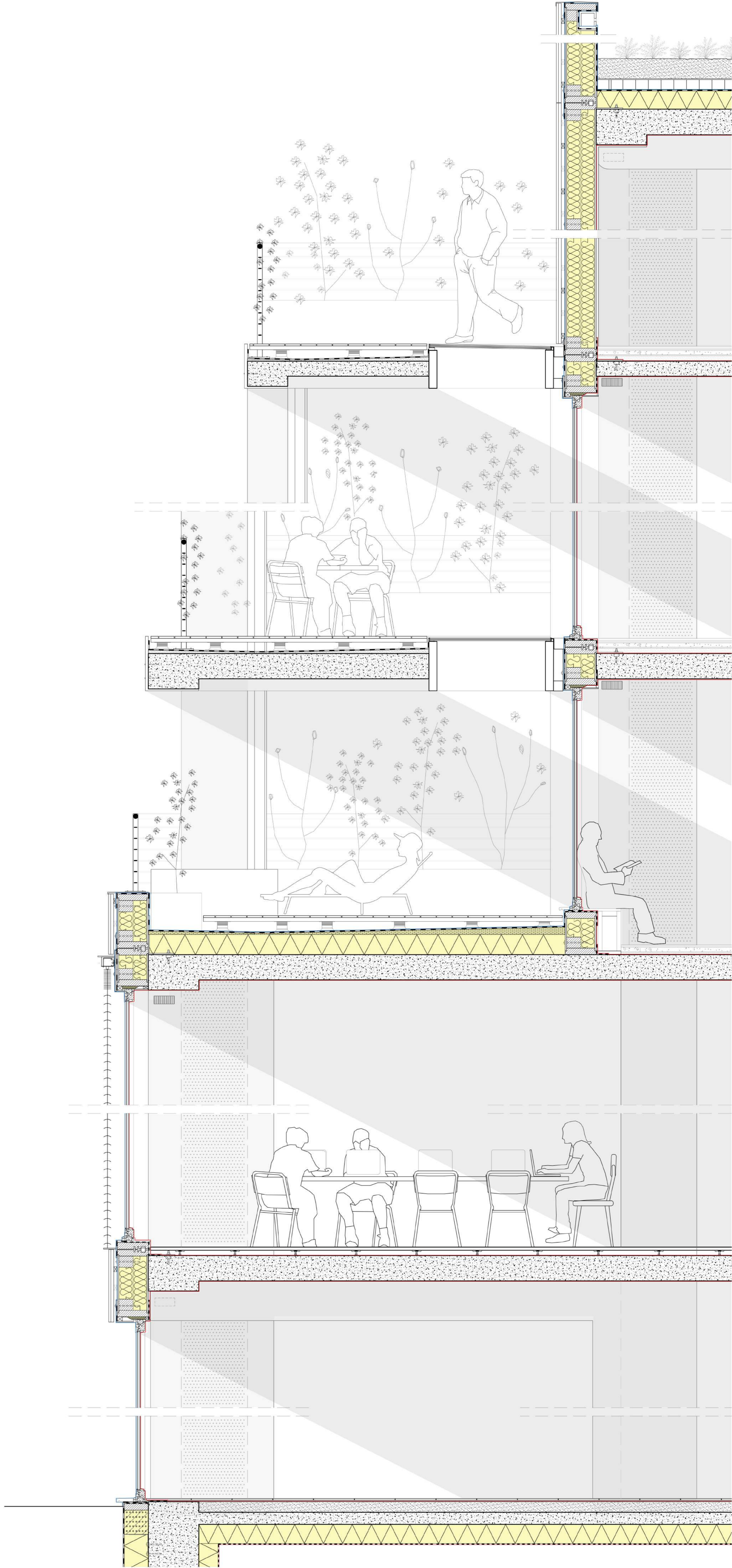
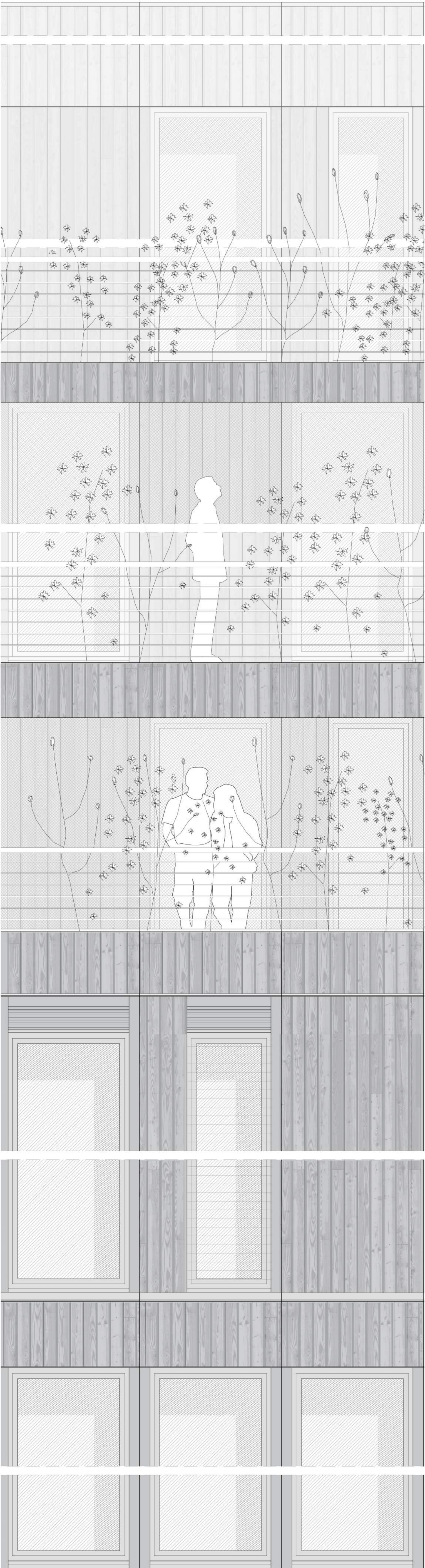


Différents types de module (coupe schématique AA)

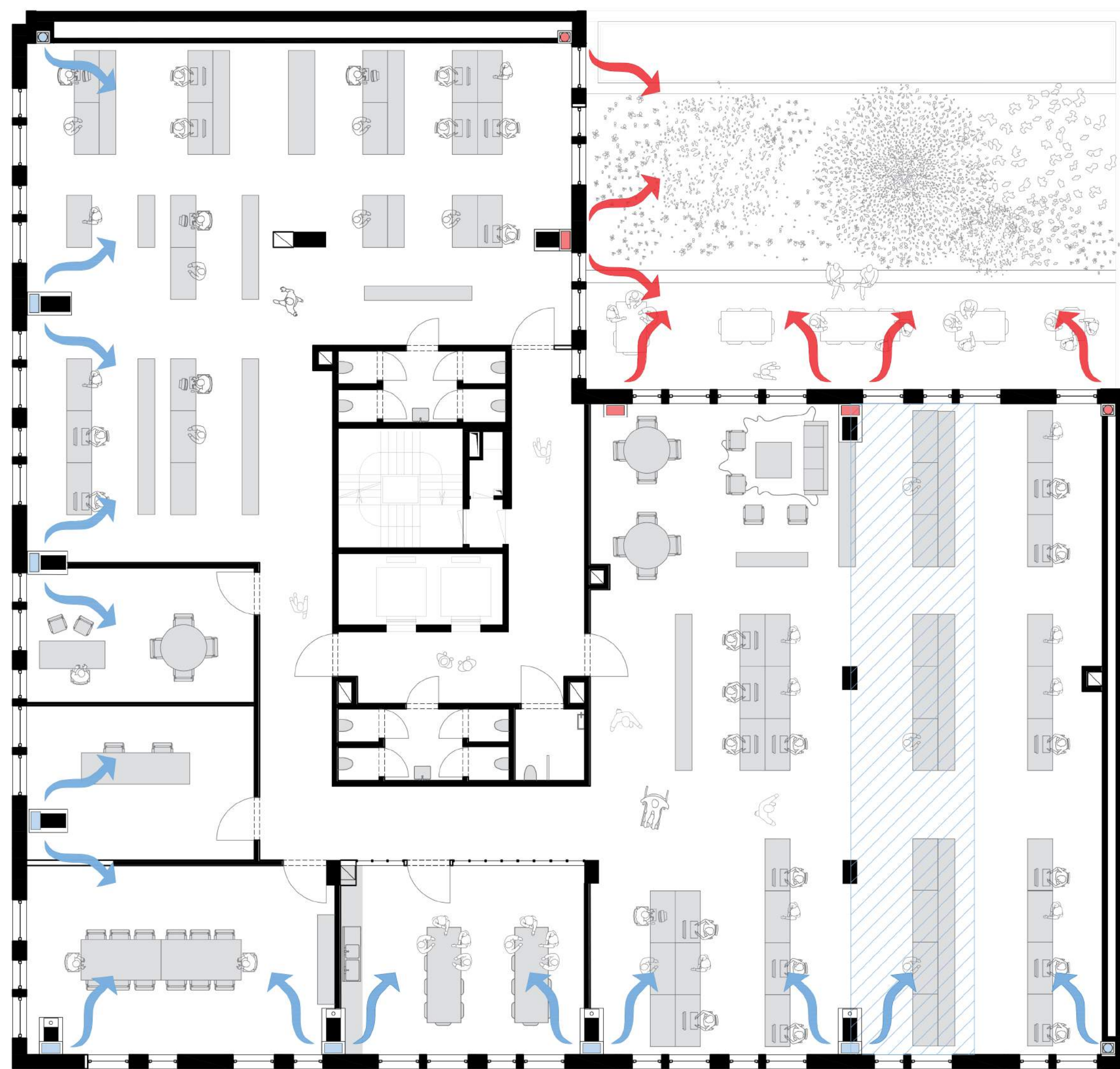


Plan de percement de la dalle

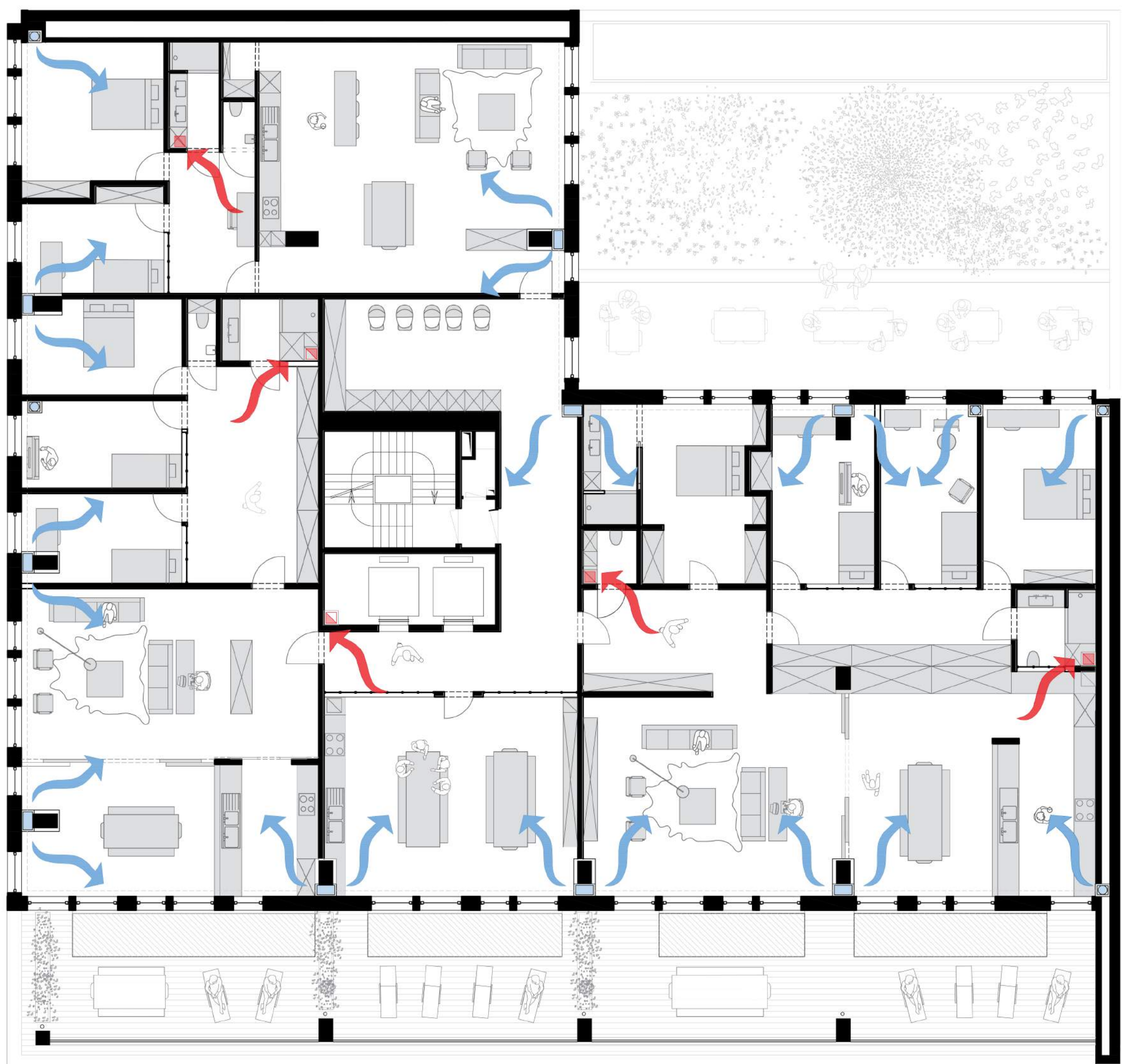
# Elévation Sud et coupe technique AA



# Techniques de ventilation en façade



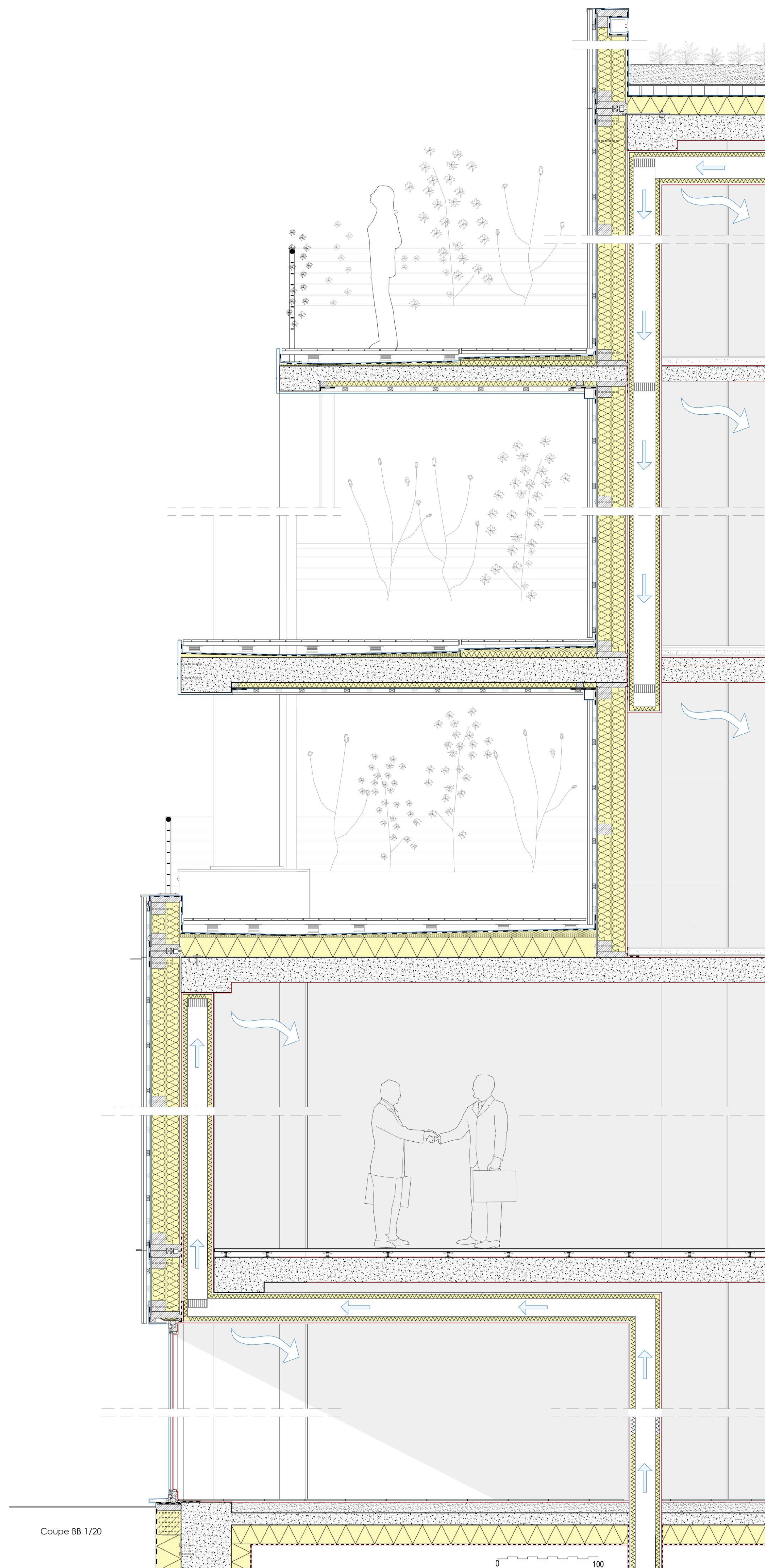
Bureaux: Alimentation en façade, extraction en façade opposée, groupe au sous-sol  
 Zone indépendante techniquement



Logements: Alimentation en façade, extraction en sanitaires, groupe en toiture

Plans 1/100

Juliette Delfosse  
 Retour critique de façades démontables zéro-déchet



Coupe BB 1/20

# Cycles de vie

