

TFÉ 2020 [LBARC2200] - LOCI Bruxelles

Titre : Architecture évolutive : comment concevoir un bâtiment afin d'assurer son évolution durable tout en devenant une ressource d'usages et de matières au long de son cycle de vie ?

Étudiante :BOUCHARD Claire
Copromoteur-expert :STIERNON Dorothée
Copromoteur 2 :VAN MOESEKE Geoffrey
Copromoteur 3 :THIELEMANS Benoît
Date de présentation :Mercredi 24 Juin 2020

Résumé :

Ce travail a pour objectif de mettre en évidence différentes méthodes de conception permettant d'allonger la durée de vie d'un bâtiment et de le considérer comme ressource d'usages et de matières tout au long de son cycle de vie. Il cherche à répondre à un nombre de constats problématiques liés à la production excessive de déchets dans le domaine de la construction et à l'obsolescence des bâtiments due à la nature statique des bâtiments et de ses composants, incompatible avec notre société en constante évolution. Des concepts actuels, comme notamment la stratégie de conception du *Design for Change* sont mis en lumière, permettant de rendre le bâtiment adaptable par la mise en œuvre de composants remplaçables. Cette analyse est suivie de références architecturales et d'un projet utopique concernant la conception d'un bâtiment adaptable et évolutif s'intégrant dans le quartier Meir près du parc Astrid à Anderlecht.

Ce travail a donc pour objectif global de contribuer à la création d'une architecture plus pérenne et responsable qui permet aux bâtiments d'évoluer et de s'adapter dans le temps en réduisant la destruction et le gaspillage.

Mots-clefs :

- Démolition
- Matériau de récupération
- Analyse du cycle de vie
- Déconstructivisme
- Construction modulaire
- Temporalité
- Espace polyvalent
- Flexibilité interne

ARCHITECTURE ÉVOLUTIVE

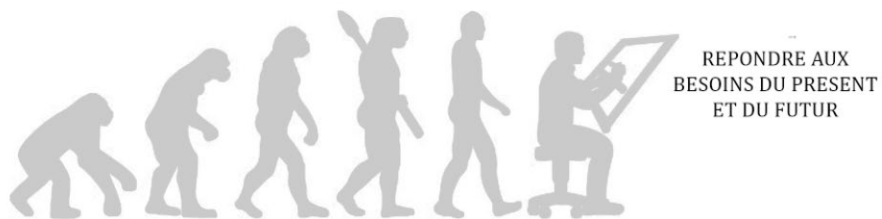
Comment concevoir un bâtiment afin d'assurer son évolution durable tout en devenant une ressource d'usages et de matières au long de son cycle de vie ?

Travail de fin d'études *en et sur* l'architecture
en vue de l'obtention du Diplôme de Master en Architecture

Claire Bouchard

Sous la tutelle de

G. Van Moeseke, B. Thielemans, D. Levy (copromoteurs)
et D. Stiernon (experte)



Année académique 2019-2020

UCL, Faculté d'architecture, d'ingénierie architecturale et d'urbanisme LOCI-Bruxelles

“There is nothing permanent except change.”

« Rien n’est permanent sauf le changement. »

Héraclite d’Éphèse, philosophe grec du VI^e siècle av. J.-C.

Remerciements

Ce travail est l'aboutissement de cinq années d'études en architecture au sein de la faculté d'architecture, d'ingénierie architecturale et d'urbanisme, LOCI. Il m'a permis d'acquérir des connaissances sur un sujet très actuel qui m'a passionné ces deux dernières années. Je tiens à remercier plusieurs personnes sans lesquelles ce mémoire n'aurait pas été possible.

Tout d'abord, j'aimerais remercier mes professeurs d'atelier et copromoteurs, Monsieur Geoffrey Van Moeseke, Monsieur Benoît Thielemans, et Madame Déborah Levy pour leurs suivis, leurs apports et leurs remarques très enrichissantes tout au long de l'année.

J'aimerais également remercier mon experte, Dorothee Stiernon pour sa disponibilité et ses critiques et conseils avisés qui m'ont aidé à faire évoluer mon TFÉ.

Ensuite, j'aimerais remercier mes collègues d'atelier, Vincent, Simon, Zoé et Monika pour leur collaboration, nos discussions ensemble ainsi que nos moments de détente et leurs aides constructives pendant toute cette période.

Enfin, mes derniers remerciements sont dédiés à ma famille et à mes proches. Plus précisément, mes parents, mes amis et mon copain pour leurs encouragements et leur soutien constant. Merci à mon père pour ses relectures précieuses, sa patience et ses conseils en la matière qui ont rendu ce travail plus intéressant.

Table des matières

1. Introduction	8
1.1 Une utopie réalisable	8
1.2 Enjeux	9
1.2.2 Enjeux environnementaux.....	9
1.2.2 Enjeux économiques	10
1.2.3 Enjeux sociaux.....	10
1.3 Méthode de travail	13
2. Cadre théorique	15
2.1 Eléments de réponse apportés par un bâtiment durable et évolutif	15
2.2 Pistes d'action	17
2.2.1 Entre dimension spatiale et sociale	17
2.2.2 4-Dimensional Design	20
2.2.3 Système des couches	22
2.2.4 Conception à 3 échelles	25
2.3 Synthèse des pistes de réponses théoriques	32
3. Catalogue de références	34
3.1 Critères d'évaluation des projets	34
3.2 Projets étudiés	35
3.2.1 Herman Hertzberger – Centraal Beheer office complex.....	35
3.2.2 CANAL – Cité internationale de Cuques	38
3.2.3 LP Promotion – Appel à projet Urbalab	42
3.2.4 Eric Marchal et Quentin Wilbaux – Écoquartier du Pic-au-Vent	45
3.2.5 BAMB, VUB, Kaderstudio – Circular Retrofit Lab	49
3.2.6 Ateliers de l'Avenir - Système CIMEDE.....	54
3.2.7 Kaderstudio – Everyone's hill	57
3.3 Synthèse des pistes de réponses pratiques	60
4. Proposition d'éléments pratiques	63
4.1 Echelle de réversibilité	63
4.2 Composants	65
4.2.1 Structure du bâtiment.....	65
4.2.2 Enveloppe du bâtiment.....	71
4.2.3 Positionnement des services	72
4.3 Synthèse des éléments pratiques	73
5. Le projet	76
5.1 Contexte	76
5.1.1 Parc Astrid à Anderlecht	76
5.1.2 Présentation du plan masse.....	78
5.2 Identité et revalorisation du quartier	79
5.2.1 Lecture urbaine.....	79

5.2.2	Besoins du quartier	80
5.2.3	Propositions et objectifs pour le futur du quartier Meir	81
5.3	Présentation du projet	82
5.3.1	Développement du site	82
5.3.2	Projet.....	84
5.3.3	Adaptabilité du bâtiment.....	90
5.3.4	Ventilation du bâtiment.....	103
6.	Retour critique	106
6.1	Freins et Limites	106
6.2	Pistes d'action à creuser.....	107
6.3	Réflexions.....	108
7.	Conclusion	109
8.	Bibliographie	110

1. Introduction

1.1 Une utopie réalisable

En moyenne, les bâtiments atteignent une durée de vie de 60 ans, selon la norme britannique [VUB,2019]. Autrefois, ceci était le cas pour un grand nombre d'édifices et on connaît encore aujourd'hui des bâtiments qui ont perduré dans le temps. Cependant, ces bâtiments anciens ont été conçus de manière à répondre uniquement aux besoins du moment et sont donc très statiques et peu aptes à la transformation. Leur conservation va donc souvent de pair avec des rénovations assez lourdes et onéreuses.

Aujourd'hui, les modes de vie et les besoins de la société évoluent de plus en plus vite, un mouvement qui est peu compatible avec un environnement statique. Pour cette raison, la durée de vie fonctionnelle des bâtiments actuels reste limitée et ne dépasse souvent pas les 15 ans, selon les calculs de Métabolisme urbain de la Région Bruxelles-Capitale [VUB,2019]. En effet, la structure des bâtiments est souvent trop rigide, les éléments de façade sont faits sur mesure et les installations techniques se trouvent réparties sur l'ensemble de l'immeuble. Les bâtiments deviennent donc rapidement obsolètes ou sont démolis parce que leurs rénovations sont souvent longues et engendrent des coûts élevés pour répondre aux nouveaux besoins des utilisateurs. Ces démolitions provoquent de grandes quantités de déchets et d'énergies nécessaires ainsi que l'exploitation de nouvelles ressources de matériaux. Le défi actuel consiste donc de concevoir un bâtiment de manière à ce qu'il évolue selon les critères du développement durable. Le bâtiment ne doit plus avoir une naissance ou une mort, mais plutôt connaître des transformations ou des modifications ponctuelles qui lui permettront de mieux résister dans le temps. Il semble impératif de construire un bâtiment pour qu'il dure, et de promouvoir son utilisation plus responsable. Au lieu de concevoir des solutions permanentes pour des besoins temporaires et changeants, nous avons besoin de bâtiments dynamiques qui peuvent évoluer avec les développements techniques et les demandes des utilisateurs ainsi que les besoins de la société.

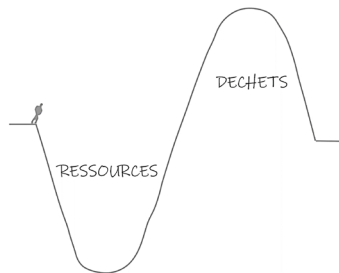
Par conséquent, ce travail propose l'utopie réalisable d'une construction d'un bâtiment pouvant évoluer avec le temps en accueillant des fonctions simultanées et successives et permettant l'adaptabilité par des composants et matériaux réversibles, la modularité et l'utilisation de matériaux sains et durables. Il s'agit de jouer sur la temporalité du bâtiment et d'ainsi prolonger la durée de vie de celui-ci tout en protégeant la Terre et ses ressources. Les matériaux présentant des durées de vie différentes et tombant donc plus ou moins vite en désuétude, il est important de travailler sur une indépendance des couches d'un bâtiment afin de pouvoir changer les matériaux de manière indépendante les uns des autres. Cette approche permettrait de prolonger la durée de vie d'un bâtiment dans son ensemble. Tout ceci dans un but d'une évolution durable et d'une réutilisation des composants et matériaux en considérant le bâtiment comme ressource pour d'autres constructions et d'ainsi promouvoir la circularité des matériaux.

1.2 Enjeux

Afin de réaliser cette utopie, il s'agit de clarifier les différents enjeux auxquels elle doit répondre. Pour une meilleure compréhension, ils ont été divisés suivant les trois piliers du développement durable.

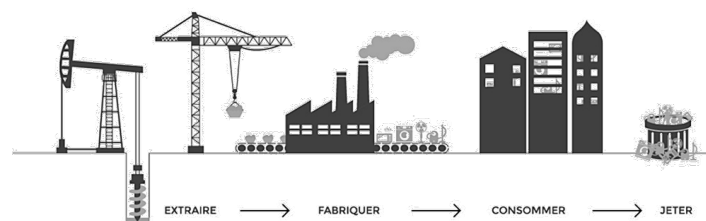
1.2.2 Enjeux environnementaux

Production des déchets et d'énergie



*Fig. 1 : Épuisement de ressources et production de déchets
Source : Choppin, Delon, 2014*

Le secteur du bâtiment représente aujourd'hui un des domaines qui produit le plus de quantités de déchets. En effet, dans la région de Bruxelles - Capitale, ce secteur produit annuellement 628.000 tonnes de déchets de construction et de démolition sur un total de 1.325.000 tonnes de déchets collectés [be.circular, 2017]. Cette quantité s'explique par nos manières de construire qui se basent majoritairement sur un système économique linéaire¹ et qui ne s'inscrivent donc pas dans une démarche de développement durable. La déconstruction des éléments de construction est souvent considérée comme trop coûteuse et nécessite un temps et une main-d'œuvre plus considérable que lors d'une simple démolition² [Rotor, 2015]. Par ailleurs, ces derniers sont parfois très difficilement voire pas démontables ou ne répondent plus aux normes, et les qualités initiales ne sont souvent pas conservées. Ceci se traduit donc par un recours constant aux matériaux primaires, nécessitant à chaque fois un nouvel apport d'énergie pour leur production et laissant des tonnes de déchets après leur unique usage.



*Fig. 2 : Système économique linéaire
Source : <https://www.selecteo.fr/le-blog/39-l-economie-circulaire-produire-autrement-et-penser-reemploi>*

¹ Le système économique linéaire est basé sur les notions de : extraire, fabriquer, consommer et jeter, considérant les ressources comme inépuisables.

² Il faut 7 fois plus de main d'œuvre lors d'une déconstruction que lors d'une destruction.

Pénurie des ressources

La production des déchets va de pair avec un épuisement de ressources en matière première. Le fait de recourir à de nouveaux matériaux au lieu de les réemployer a des effets néfastes sur notre environnement et ses ressources. Ces derniers continuent à diminuer de manière radicale. En effet, l'année passée, le « jour de dépassement » a été atteint le 29 juillet 2019 contrairement à l'année précédente où il s'agissait encore du 1^{er} août 2018. Cette étude est menée chaque année par l'ONG Global Footprint Network. Il s'agit de la date qui marque le jour de l'année où l'humanité a épuisé toutes les ressources que la nature peut renouveler par an. C'est à partir de celle-ci qu'elle vit « à crédit » jusqu'à la fin de l'année. Cette date arrive de plus en plus tôt chaque année. À l'échelle du monde, il nous faudrait aujourd'hui 1,8 terres pour équilibrer cette surconsommation de ressources [ONG Global Footprint Network]. Cette prise de conscience nous force à repenser notre manière de construire en économisant et en valorisant les ressources.

1.2.2 Enjeux économiques

Démolitions des bâtiments

Les démolitions partielles ou totales des bâtiments sont de plus en plus fréquentes. Le plus souvent uniquement la façade est maintenue due au façadisme³, alors que le reste du bâtiment est démoli. Les éléments de construction qui ressortent de ces démolitions sont évacués alors qu'ils ne sont pas encore techniquement obsolètes.

Les raisons de ces démolitions sont dues à l'abandon des bâtiments, un changement d'affectation, l'évolution des envies de la société, des normes et l'apparition de nouveaux matériaux présentant de meilleures performances sur le marché [Rotor, 2015]. En effet, les bâtiments ont été construits de manière très rigide en répondant juste aux besoins de leur époque. Ils n'ont donc pas été conçus en vue d'un éventuel démontage ou d'un changement d'affectation dans le futur, ce qui résulte souvent en leur démolition partielle ou complète [VUB,2019].

1.2.3 Enjeux sociaux

Obsolescence des bâtiments due aux :

- Lieux défavorables à l'animation du quartier

Certains bâtiments sont souvent délaissés après un court laps de temps parce que leur implantation et leur environnement étaient peu attractifs et ne contribuaient pas à la création de liens sociaux entre ses habitants et le quartier. Après avoir été délaissés, il y a souvent leur démolition qui suit ultérieurement. En effet, un bâtiment a besoin de

³ Pratique urbanistique qui ne conserve que la façade (pour des raisons esthétiques, historiques...) alors que le reste du bâtiment est démoli. Elle s'est fortement développée dans les dernières années du XX^e siècle.

certaines critères (proximité des services, transports en commun, espaces verts...) pour survivre et amener de la vie au quartier et ainsi soutenir son développement.

- Nouveaux modes de vie

Un autre enjeu social est l'apparition de nouveaux modes de vie. Ceux-ci se traduisent par de nouveaux modèles familiaux (ex : cohabitat) et de modes de travail (ex : co-working, home-working) mais aussi par de nouvelles reconfigurations familiales (ex : divorce, mariage, famille recomposée.) qui demandent de revoir l'organisation interne des espaces. Les bâtiments statiques ne pouvant souvent pas suivre ces mouvements, les habitants se trouvent forcés de changer d'immeuble.

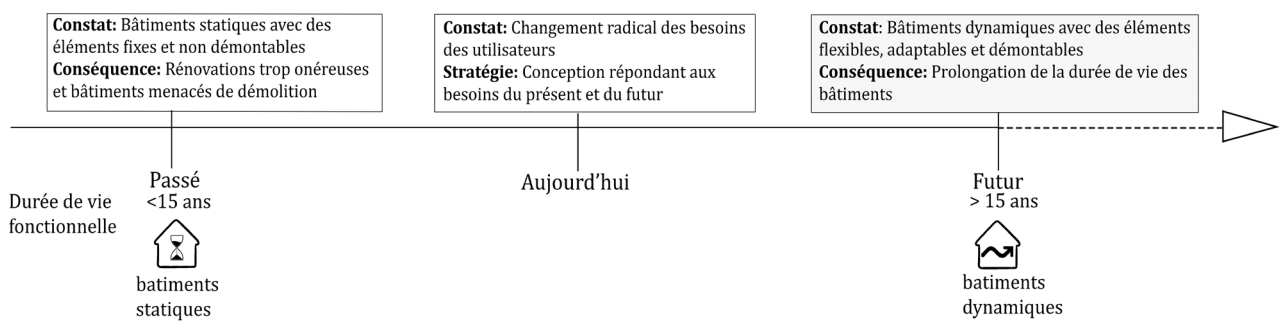


Fig. 3 : Constat
 Source : Schéma réalisé par l'auteur

1.3 Méthode de travail

Afin de réaliser un bâtiment pour qu'il puisse durer utilement plusieurs siècles, une des pistes est de le concevoir de manière réversible, adaptable et modulaire. Cette pratique permet de rendre l'édifice plus pérenne.

Ce travail a donc pour objectif d'explorer plusieurs pistes d'action et d'appliquer des procédés de conception à un bâtiment neuf afin de garantir son évolution durable. Pour le réaliser, il s'agit de définir une méthode claire.

Dans un premier temps, différents concepts théoriques ainsi que des pratiques architecturales qui intègrent une volonté de perdurer sont analysés. Le cadre théorique se base donc majoritairement sur la stratégie du « Design for change » qui intègre la notion de la temporalité et souligne l'importance d'une conception répondant aux besoins du présent et du futur. Le cadre pratique invite à veiller au traitement des différentes couches ainsi qu'à la position et au statut qu'adaptent les différents éléments dans chaque cas. Cette étude permet de déceler un nombre de critères à retenir pour la réalisation d'une construction pérenne.

Dans un deuxième temps, le projet de fin d'études est développé. Les besoins du quartier et le contexte seront mis en lumière et le choix du site d'implantation sera abordé. Par la suite, les différents éléments théoriques seront expérimentés à travers le projet. Ceci concerne notamment les dimensions des composants, les systèmes constructifs, les techniques et encore d'autres aspects nécessaires à la bonne réalisation.

Dans un troisième temps, un retour critique est réalisé par rapport à l'utopie afin d'illustrer les freins et limites rencontrés, les questions qui restent encore ouvertes, les pistes d'action qu'il s'agit de creuser ainsi que les réflexions faites durant tout le processus.

2. Cadre théorique

2.1 Éléments de réponse apportés par un bâtiment durable et évolutif

Réduction des déchets de construction et de la consommation d'énergie

Un bâtiment évolutif permettrait de rompre avec le processus linéaire consumériste de la matière et par conséquent, celle du bâtiment. Il tend donc vers un système que nous appelons « économie circulaire »⁴. Ce modèle a comme objectif de limiter l'extraction de matières premières et de stimuler la création d'emplois. Dans ce nouveau modèle, les déchets deviennent ressources. La récolte et l'extraction de ces derniers sont minimisées grâce à la valorisation et la réutilisation de celles déjà présentes dans le circuit. Ce nouveau système intègre entre autres la notion d'éco-conception. On peut retenir plusieurs leviers d'action de cette démarche. Le premier consiste à réduire la consommation des ressources en matière première. Le deuxième prône l'utilisation de matériaux sains, locaux et de réemploi. Ce levier souligne l'importance d'une gestion de déchets et met en évidence les critères de confort et de sécurité pour les usagers. Le dernier suit une conception adaptable, modulaire et accessible.

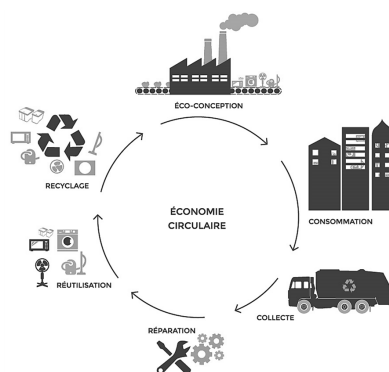


Fig. 4 : Système économique circulaire

Source : <https://www.selecteo.fr/le-blog/39-l-economie-circulaire-produire-autrement-et-penser-reemploi>

Critères à suivre :

Réduire et gérer les déchets en :

- Réemployant des matériaux résistants et réversibles ;
- Triant les composants pour les intégrer à une économie circulaire ;
- Promouvoir la circularité des matériaux.

⁴ Par opposition à l'économie linéaire, l'économie circulaire permet de réduire la pression sur les ressources et est basé sur un système de valorisation des déchets.

Réduction de l'exploitation des ressources

Comme dit avant, la pénurie des ressources nous mène à changer notre manière de construire. Il s'agit donc d'économiser et de valoriser ces derniers. Les mouvements actuels vont dans une direction de recyclage et de réemploi des matériaux pour prolonger leur usage. Pour qu'un bâtiment puisse évoluer, ces matériaux doivent pouvoir être remplacés facilement en fonction des normes, développements techniques et besoins changeants. Ceci se traduit par un flux de matières (matériaux entrants et sortants) en considérant le bâtiment comme une ressource de matières pour d'autres bâtiments. Le bâtiment évolutif permettrait donc la récupération de matériaux après le démontage de certains de ces éléments et de leur trouver une seconde vie dans le domaine de la construction ou dans tout autre domaine avant de passer par le recyclage. Ce mouvement permet d'économiser de l'énergie mais surtout de diminuer la pression sur les ressources en matières premières (réduction de la production de nouveaux matériaux).

Critères à suivre :

Valoriser les ressources en matières primaires en :

- Pensant le bâti dans son cycle de vie comme une ressource (puiser dans l'existant) ;
- Concevant les bâtiments comme une banque de matériaux (réemploi).

Lutte contre l'obsolescence et la destruction des bâtiments

Comme évoqué plus haut, les besoins de notre société évoluent de manière dynamique ce qui a des conséquences assez importantes sur nos bâtiments actuels, notamment leur abandon, résultant dans la plupart du temps dans leur destruction. Afin de lutter contre leur obsolescence, il s'agit de veiller à plusieurs éléments qui font qu'un bâtiment perdure dans le temps. L'élément premier est le choix de son implantation. Le site doit se trouver à proximité des transports en commun, des espaces verts et des services et commerces pour assurer son existence. Par la suite, c'est au bâtiment d'enrichir son site en mettant en place des aménagements et des fonctions qui peuvent servir à l'ensemble du quartier et rendre le site attrayant et dynamique. C'est ainsi qu'il assure et entretient des relations avec son contexte social et environnemental. En outre, il doit pouvoir permettre plusieurs affectations par sa flexibilité interne. Un bâtiment qui accueille plusieurs fonctions répondant de manière efficace aux besoins du quartier et de ses habitants tout en pensant aux éventuelles activités futures a plus de chance de perdurer dans le temps. En dernier, ses couches doivent être indépendantes pour permettre le changement d'éléments ponctuels.

Critères à suivre :

Lutter contre l'obsolescence et le caractère statique des bâtiments en :

- Veillant au choix du site et de son contexte ;
- Prolongeant la durée de vie d'un bâtiment ;
- Favorisant l'adaptabilité et la flexibilité des espaces ;
- Anticipant la maintenance et la déconstruction des composants ;
- Tenant compte des changements de la société et des modes de vie en favorisant la mixité des usages.

2.2 Pistes d'action

2.2.1 Entre dimension spatiale et sociale

Pour réaliser un bâtiment durable et évolutif, il s'agit de comprendre ce qui le constitue et de ce qu'il a besoin pour exister. Le chapitre suivant s'intéresse donc à la notion de durabilité d'un bâtiment, analysée sous un point de vue spatial et social.

Durabilité d'un point de vue spatial

En se basant sur la définition apparue dans le rapport de Brundtland, on entend par durabilité d'un point de vue spatial, la conception des espaces pérennes qui répondent aux besoins du présent et du futur. Cependant, cette permanence se trouve bouleversée par une obsolescence croissante des espaces habités. L'obsolescence spatiale est due à trois types de changements.

Le premier type regroupe les relations sociales, l'éducation, le travail et les codes sociaux évoluant rapidement. Ce premier type est donc lié aux évolutions de modes de vie de notre société ayant un impact direct sur la conception des espaces.

Le deuxième type concerne les nouveaux matériaux de construction, les normes, les solutions structurelles et les services d'entretien émergeant à un rythme très rapide. Ces techniques de construction mettent au défi la dimension constructive de l'architecture. Le troisième type met en évidence l'évolution de la conception de la mode, des goûts, des styles ou encore des valeurs formelles. À nouveau, le renouvellement constant des codes esthétiques compromet la mise en œuvre d'une architecture pérenne [Ledent, 2015]. Ces types de changements peuvent être regroupés selon les trois ordres classiques de Vitruve : *utilitas, firmitas, venustas* (utilité, solidité, beauté). Il s'agit donc de trouver une harmonie de ces ordres pour répondre à l'obsolescence du bâtiment.

L'architecte néerlandais Herman Hertzberger fait une distinction assez nette entre un espace spécifique et un espace polyvalent. Selon lui, l'espace spécifique est atteint en enlevant des qualités pour produire un espace neutre. La notion de spécificité décrit donc une qualité passive. Au contraire, la notion de polyvalence est de caractère actif, se référant donc à une adaptabilité fonctionnelle des espaces. Elle laisse donc la place à l'interprétation et offre des espaces convenables. Le concept de la polyvalence est capable de donner une réponse à la durabilité d'un point de vue spatial. Contrairement à la spécificité, elle offre des variations susceptibles de répondre à la pérennité des espaces et de répondre aux besoins du présent et du futur.



Fig. 5 : Dimension spatiale de la durabilité
Source : Ledent, Salembier, Vanneste, 2019

Durabilité d'un point de vue social

La définition de Brundtland peut aussi être interprétée d'un point de vue social. Ici, le centre d'attention porte sur l'articulation entre les besoins contemporains et les capacités de futures générations dans un monde qui est par définition limité.

Le défi est de déterminer et de comprendre comment l'accomplissement des besoins de certains n'empêche pas celui des autres mais au contraire y contribuera. Ainsi, la durabilité offre une variété infinie de possibilités ou modes de vie pour les habitants du présent et du futur.

Comment un édifice peut-il garantir la sécurité de chacun et l'intégrité ? Comment peut-il préserver l'intimité de chacun mais en même temps établir des relations sociales entre habitants ? Ces questions se focalisent sur les leviers fournis par le bâtiment. Par conséquent, un bâtiment qui mène indirectement à des opportunités de travail, des activités sociales (sport, culture...), et la création de nouveaux projets et initiatives peut être qualifié « d'enrichissant ». La durabilité d'un point de vue social d'un bâtiment dépend donc du degré d'enrichissement ou *d'empowerment* qu'il attribue aux générations du présent et du futur.

L'empowerment est à mettre en relation avec l'approche de capacité ou capabilité développée par l'économiste et philosophe indien Amartya Sen. Elle est définie comme la « possibilité pour les individus de faire des choix parmi les biens qu'ils jugent estimables et de les atteindre effectivement ». Elle inclut trois dimensions : liberté de choix, visée d'épanouissement et possibilités effectives de réalisation. En effet, l'approche de la capabilité peut uniquement être considérée si les habitants contribuent de manière active à leur environnement.

L'empowerment des habitants est essentiel pour produire la durabilité d'un point de vue social. Elle se trouve en opposition avec la réduction au rôle qui suit une forme de détermination.

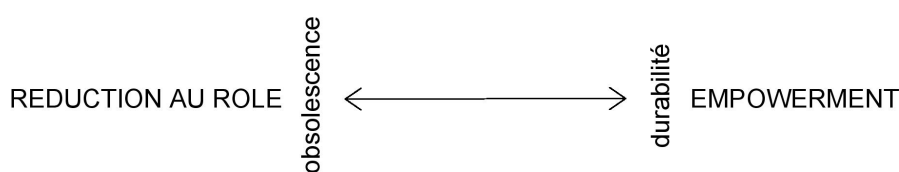


Fig. 6 : Dimension sociale de la durabilité
Source : Ledent, Salembier, Vanneste, 2019

Durabilité à l'articulation des approches socio-spatiales

Après avoir analysé ces deux points de vue de la durabilité, il s'agit maintenant de comprendre ce qui les relie afin de constituer un bâtiment durable.

D'un point de vue spatial, les bâtiments durables sont ceux qui évitent l'obsolescence. Une des pistes est de les concevoir avec des espaces polyvalents qui répondent aux besoins divers souvent lié au technique, au fonctionnel et à l'esthétique.

D'un point de vue social, des interactions durables sont celles qui enrichissent les individus ou groupes en reconnaissant leurs interdépendances.

La première approche confronte polyvalence et spécificité alors que la deuxième oppose *empowerment* et réduction au rôle. En combinant les deux, on arrive à délimiter la durabilité aux notions de polyvalence et *empowerment*.

Tandis que traditionnellement, l'architecture domestique était basée sur une enquête de configurations spatiales englobant trois dimensions - formelle, fonctionnelle et structurelle -, il est maintenant devenu évident que la notion du bâtiment implique une série de relations complexes entre facteurs socio-culturels et arrangements spatiaux. De plus, la notion de la temporalité devient de plus en plus importante, vu que la relation entre habitat et habitants est dynamique et changeante [Ledent, 2015].

La durabilité est donc perçue d'un point de vue plus complet qui voit l'habitat sous un angle plus large que juste spatial et technologique. La vision utilitaire tend alors vers une considération de l'espace qui prend en compte les exigences et besoins des habitants.

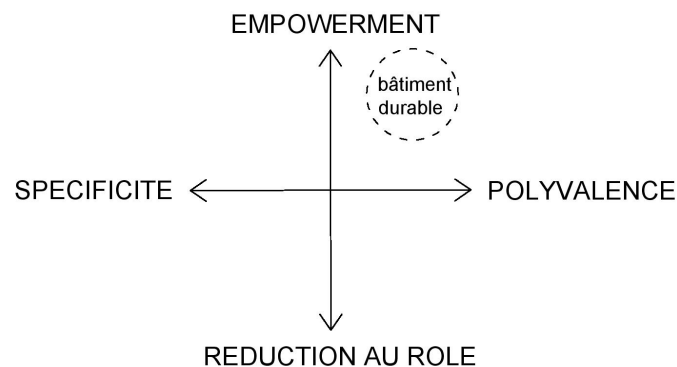


Fig. 7 : Articulation entre dimension sociale et spatiale de la durabilité
Source : Ledent, Salembier, Vanneste, 2019

2.2.2 4-Dimensional Design

- Design for Change, Design for Adaptability, Design for Disassembly and Reuse

Le 4-Dimensional Design regroupe différentes pratiques qui permettent de donner des réponses aux enjeux listés précédemment.

C'est une pratique de conception qui reconnaît les exigences en constante évolution des utilisateurs individuels et de la société dans une perspective de cycle de vie intégrant ainsi la dimension temporelle. Comme évoqué avant, la temporalité prend une place de plus en plus importante dans la lutte contre l'obsolescence et la recherche de la pérennité d'un bâtiment.

Ici, il convient de mentionner qu'il faut bien différencier la durée de vie d'un bâtiment par l'usure et l'évolution de la société. En effet, la longévité d'un bâtiment dépend de la réversibilité de ses composants, des matériaux employés, de l'environnement dans lequel il s'implante et de son contexte socio-économique [VUB,2019]. Ces critères déterminent la durée de vie du bâtiment. Plus précisément on distingue 3 types de durées de vie :

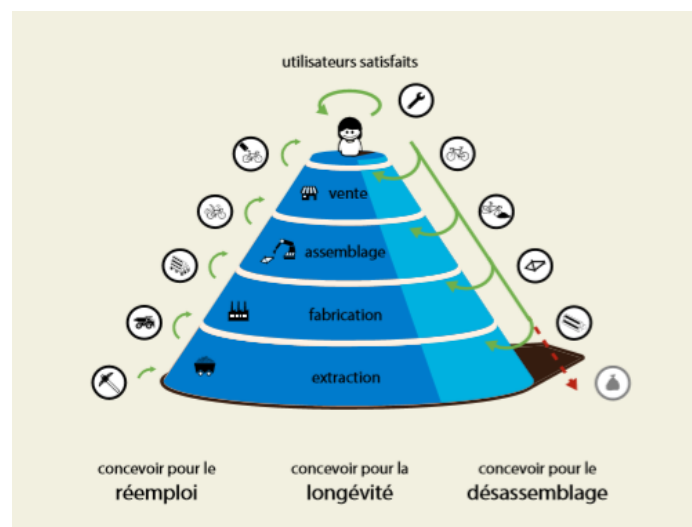
La durée de vie technique (physique) est la période pendant laquelle un système, un composant ou un matériau peut remplir sa fonction prévue sans qu'il ait une détérioration physique le rendant inutilisable.

La durée de vie fonctionnelle (sociale) est la période pendant laquelle un système, un composant ou un matériau répond aux attentes de ses utilisateurs. Celle-ci se trouve de plus en plus courte due au caractère dynamique de la société.

La durée de vie économique (financière) est la période pendant laquelle un système, un composant ou un matériau peut être utilisé de manière économiquement viable et concurrentielle. C'est donc le temps qu'il faut avant qu'un autre bâtiment ou système soit moins coûteux ou plus rentable à exploiter et à entretenir. [VUB, 2019]

L'obsolescence et les reconversions ou démolitions résultent souvent d'un déséquilibre entre ces périodes techniques, fonctionnelles et économiques. En effet, aujourd'hui les bâtiments atteignent la fin de leur durée de vie fonctionnelle ou économique malgré qu'ils ne soient pas encore obsolètes d'un niveau technique. On se trouve face à un environnement dynamique qui exige que les bâtiments changent et s'adaptent aux nouveaux besoins d'un quartier et de ses habitants. Dès la conception d'un projet, il s'agit donc de répondre aux besoins actuels mais aussi d'anticiper des modifications futures et de mettre en place une stratégie à long terme du bâtiment.

Le 4-Dimensional Design joue aussi un rôle important dans la réduction de l'impact environnemental en utilisant des ressources saines et durables et en les intégrant dans des systèmes circulaires. En plus de concevoir pour la longévité et donc pour l'adaptabilité des espaces, il prône la conception en vue du désassemblage et du réemploi des matériaux intégrés dans le bâtiment.



*Fig. 8 : La colline de la valeur dans la construction circulaire
 Source : VUB, Cambier, Elsen, Galle, et al., 2019
 d'après Achterberg, Hinfelaar, Bocken*

2.2.3 Système des couches

En 1994 Steward Brand propose le concept de *pace-layering* ou de stratification d'un bâtiment. Ce schéma établit une hiérarchie entre les différentes couches en fonction de leur niveau de fonctionnalité, leur usage et leur durée de vie. Chaque couche est renouvelable à des rythmes différents. Il est alors important de garder une certaine indépendance entre les différents composants d'un bâtiment afin de faciliter le prélèvement d'un élément sans nécessairement en remplacer d'autres. Ainsi, Brand fait en sorte que les couches ayant une durée de vie plus courte soient plus indépendantes et accessibles que les couches ayant une durée de vie plus longue. En effet, « en raison des taux de variation différents de ses composants, un bâtiment se déchire toujours » [Brand 1994]. Il illustre son principe de couches par les « 6 S » : *Site, Structure, Skin, Services, Space plan and Stuff* (site, structure, enveloppe, services, agencement spatial et mobilier). Ces différentes strates ne demandent pas le même niveau d'entretien et de remplacement.

Le site est le cadre géographique, l'emplacement urbain pour le futur bâtiment. Il a une durée de vie éternelle.

La structure comprend les fondations et les éléments porteurs du bâtiment. Elle présente une durée de vie de 30 à 300 ans.

L'enveloppe se compose de 4 éléments : Le toit, l'isolant, les châssis et le parement. Le parement et la toiture constituent les couches protectrices extérieures du bâtiment. Elles sont donc plus aptes à connaître des altérations. Les modes de vie en constante évolution résultent en une rénovation ou un remplacement du parement et des châssis environ tous les 20 ans. Le remplacement de l'isolant est conditionné par le changement des normes ou des éventuels dégâts de celui-ci.

Les services regroupent tous les éléments techniques (HVAC, plomberie, électricité...). Ils deviennent généralement obsolètes au bout de 7 à 15 ans et nécessitent un remplacement.

L'agencement spatial reprend les séparations verticales et horizontales intérieures (parois, cloisons et dalles). Il peut être modifié tous les 3 à 30 ans.

Le mobilier peut être déplacé ou modifié selon les besoins/modes de vie évolutifs des occupants. On parle donc de quelques jours, mois ou années.

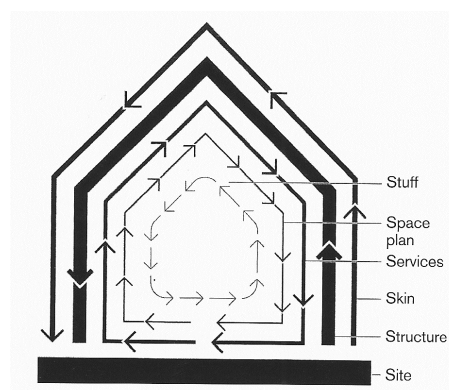


Fig. 9 : Le principe du *pace layering* de Brand
Source : Brand, 1994

Le *pace-layering* a déjà été étudié lors des années antérieures par d'autres architectes et théoriciens. C'est d'abord John Habraken qui a abordé le principe de la séparation des couches en 1972. Ainsi, il a commencé par distinguer deux couches : le support et le remplissage (*support and infill*). Le support (bâtiment de base) constitue la partie fixe et le remplissage (aménagement) la partie variable définie par les habitants [Habraken, 1972]. En 1990, Duffy établit le principe des « 4 S ». Il propose quatre couches du bâtiment sans tenir compte du site et d'une séparation entre la structure et l'enveloppe. C'est précisément ce principe que Brand reprend et développe plus tard.

Plus récemment, Leupen (2006) introduit le concept de cadre et d'espace générique. Le cadre constitué d'une ou plusieurs couches représente la partie fixe tandis que l'espace générique représente la partie variable, permettant des ajustements constants. Ainsi, le permanent (cadre) conditionne le variable (espace générique). Le cadre définit l'espace dans lequel des changements peuvent survenir. Leupen introduit une couche en plus que Brand, celle de l'accès (*access*) qui se glisse entre les services et l'agencement spatial [Leupen,2006].

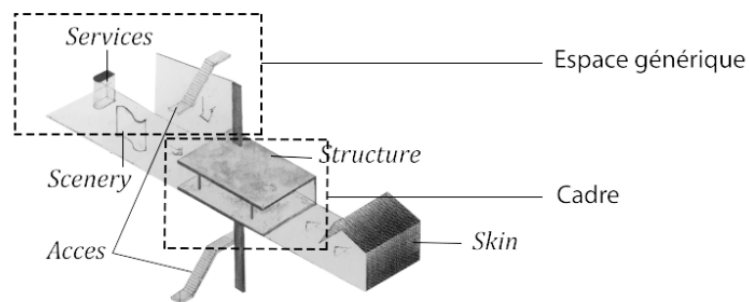


Fig. 10 : Le principe des couches de Leupen
Source : Leupen, (2006)

Synthèse

Le principe général reste le même pour tous les concepts listés ci-dessus. Il est important de retenir la couche supplémentaire rajoutée par Leupen car elle constitue un élément de composition structurant avec une durée de vie qui lui est propre.

Comme mentionné précédemment, les bâtiments présentent une durée de vie moyenne de 60 ans. Cependant, notre société évolue de manière dynamique. Les bâtiments doivent donc pouvoir s'adapter à nos besoins. Les techniques et normes sont des critères qui évoluent très rapidement. Steward Brand évoque cette rapidité d'évolution qui souligne la nécessité d'un changement de techniques tous les 7 à 15 ans. De plus, l'apparition de nouveaux matériaux sur le marché doit permettre un remplacement facile. Les bâtiments ne permettent souvent pas un remplacement d'un élément de construction sans endommager le reste de leurs couches. L'attention n'est pas assez portée sur une indépendance de celles-ci, ce qui favoriserait cependant le démontage et la récupération des matériaux pour un futur usage. Un bâtiment qui ne permet pas cette adaptabilité est donc souvent voué à la démolition. Ceci est surtout préoccupant, sachant que tous les éléments n'ont pas la même durée de vie.

De ce concept, on retient donc que le site et la structure sont les couches les plus pérennes d'un bâtiment. Au contraire, les services atteignent leur obsolescence beaucoup plus tôt. L'enveloppe et l'agencement spatial dépendent très fortement de l'évolution dynamique des besoins de la société ainsi que de l'évolution des normes et donc non seulement de la durée de vie technique de leurs composants. Le concept affirme l'importance d'une indépendance entre couches afin de ne pas détruire ou endommager des éléments encore intacts lors d'un remplacement.

2.2.4 Conception à 3 échelles

Pour intégrer la dimension temporelle à un bâtiment et de garantir son évolution durable, il faudrait intervenir à 3 échelles : les matériaux, les composants et le bâtiment.

Les matériaux

À l'échelle des matériaux, il s'agit d'utiliser des matériaux résistants, sains et durables. De plus, les matériaux doivent rester accessibles afin de permettre leur futur usage. Idéalement ce futur usage devrait correspondre à l'usage initial du matériau. En effet, les éléments de construction peuvent être valorisés de différentes manières. Ici, il convient donc de mentionner la hiérarchie d'utilisation de ces éléments et de parler de « gestion des déchets ». En 2008, une importante directive (directive européenne 2008/98/CE) vient encadrer cette dernière. Elle est aussi connue sous le nom de l'échelle de Lansink⁵. C'est une norme reconnue dans le domaine de la gestion des déchets qui hiérarchise tous les modes de traitement de déchets. Elle donne priorité aux modes de transformation qui sont les plus respectueux de l'environnement. La prévention et la réutilisation sont ceux qui se trouvent en haut de la pyramide. Dans certains cas, le réemploi est assimilé à de la prévention. En effet, selon la législation européenne, un produit ou un matériau peut être réemployé sans passer par le statut de déchet (prévention) soit en étant extrait du flux de déchets, ce qui implique alors une étape de préparation au réemploi, considérée comme un mode de traitement des déchets. [Directive européenne 2008/98/CE, 2008].

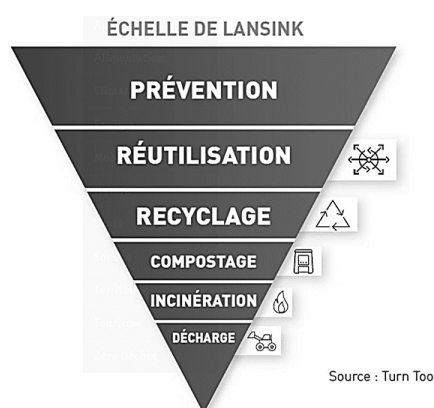


Fig. 11 : Hiérarchie des modes de traitement des déchets
Source : <https://www.iew.be/dechets-il-y-a-valorisation-et-valorisation/>

Le réemploi prend de l'avance sur le recyclage et est parmi toutes les propositions celle qui est la plus vertueuse dû à sa faible nécessité en énergie lors de sa transformation de matière. En effet, lorsqu'un matériau est réemployé, il est toujours dans son cycle premier. Cela permet d'utiliser l'objet un peu plus longtemps avant qu'il rentre dans le processus de recyclage, qui est déjà une forme de downcycling⁶.

⁵ Elle porte le nom du politicien néerlandais Ad Lansink, qui a déposé une motion en faveur de cette méthode auprès du parlement néerlandais en 1979.

⁶ Les « déchets » sont recyclés en matériaux de qualité et fonctionnalité plus faibles.

Il convient également de parler du cycle de vie d'un matériau. Le cycle de vie d'un matériau peut être défini comme l'ensemble des étapes qui entrent en jeu depuis l'extraction des matières premières pour sa transformation en produit jusqu'au traitement ou la valorisation du déchet en fin de vie. Chaque transformation a des conséquences plus ou moins importantes sur l'environnement et la santé [Trachte, 2019]. Le fait de pouvoir réutiliser les matériaux d'une construction pour servir une deuxième fois permet de court-circuiter différentes phases de son cycle de vie. Ainsi, le réemploi des matériaux limite la pression exercée sur les ressources naturelles et réduit l'impact environnemental lié à la phase de production (consommation d'énergie, émissions substances polluantes, etc.). En fait, la production d'un élément de construction mobilise une certaine quantité d'énergie. Celle-ci est stockée dans l'élément tout au long de sa vie. Le réemploi permet de prolonger la durée de vie de cet élément et permet ainsi de conserver cette énergie stockée [Huygen, 2008].

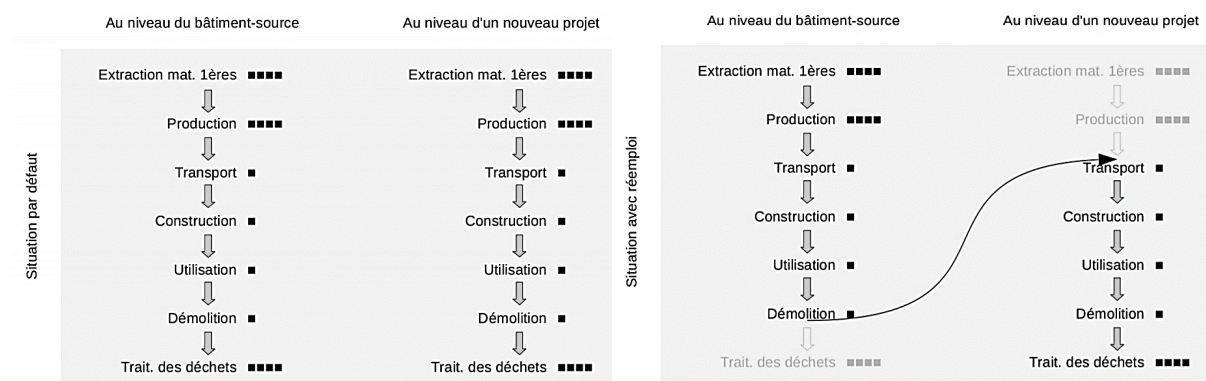


Fig. 12 : Analyse du cycle de vie matériaux neufs et de réemploi
Source : Billiet, Rotor

L'analyse du cycle de vie ou ACV est une notion apparue aux Etats-Unis en 1969. « Elle traite les aspects environnementaux et les impacts environnementaux potentiels tout au long du cycle de vie d'un produit, de l'acquisition des matières premières à sa production, son utilisation, son traitement en fin de vie, son recyclage et sa mise en rebut ». [EN ISO 14041, 2006]

Il s'agit d'établir une comparaison entre les coûts de fabrication respectifs, l'énergie utilisée, la disponibilité des matières premières et de la possibilité de recyclage après usage. Les principes de base pour la rédaction d'une analyse de cycle de vie sont régis par les normes internationales ISO 14040 et 14044.

ISO 14040 : Management environnemental - Analyse du cycle de vie - Principes et cadre
ISO 14044 : Management environnemental - Analyse du cycle de vie - Exigences et lignes directrices.

L'ACV ne s'attache pas qu'au produit, elle étudie également la fonction de celui-ci. Elle mesure la contribution d'un produit à un nombre limité d'impacts environnementaux, principalement ceux qui aujourd'hui peuvent être quantifiés et prouvés scientifiquement [Trachte, 2019].

Ainsi, l'analyse de cycle de vie ne tient pas compte :

- Des impacts des activités humaines sur les paysages et la biodiversité ;
- Des impacts de la toxicité potentielle des produits émis ;
- Des impacts locaux, comme le bruit, l'odeur, la qualité de l'air intérieur, la formation de poussière... ;
- Des conséquences / risque de catastrophes, comme l'énergie nucléaire... ;
- Des aspects sociaux, comme l'emploi, les conditions de travail, la notion de confort.

Un concept qui va encore plus loin est celui du « Cradle to Cradle » introduit par McDonough et Braungart. C'est une approche qui se base sur deux grands principes : 0% de déchet et 100% de réutilisation. Il repose sur la logique que tout est considéré comme ressource et que la notion de déchet disparaît. Selon cette pratique utopique, il s'agirait donc de faire circuler les matériaux à l'infini. Le concept est soucieux de l'impact des activités humaines liées à l'industrie sur l'environnement naturel. C'est ainsi qu'il se divise en deux catégories ou « cycles » : le cycle biologique et le cycle technologique.

Le cycle biologique : Il est dépourvu de tout produit chimique et se compose de matériaux organiques qui, une fois utilisés, peuvent être disposés dans un environnement naturel où ils se décomposent.

Le cycle technologique : Il est dépourvu de produits biologiques et représente le flux des matériaux. Dans ce cycle, il s'agit de réintroduire le produit en fin de vie dans une boucle.

L'enjeu principal est que les matériaux puissent être démontés et recyclés selon un des deux cycles.

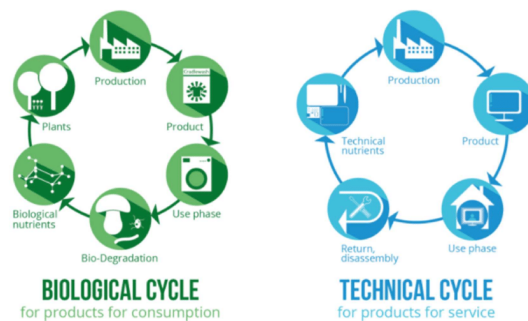


Fig. 13 : Cycle biologique et technique de McDonough et Braungart

Source : https://www.researchgate.net/figure/Distinction-between-biological-and-technical-cycles-in-the-Cradle-to-Cradle-design_fig2_322555840

Les composants

À l'échelle des composants, il s'agit de concevoir des éléments de construction dans le but de les démonter de manière aisée et non dommageable pour pouvoir les réutiliser. Ceci est important, parce que, d'une part, les composants se dégradent avec le temps et, d'autre part, le contexte du bâtiment va changer avec les demandes des utilisateurs. On parle également de réversibilité des composants. La réversibilité désigne l'ambition de réaliser des bâtiments, dont les composants suivent des boucles de matériaux et facilitent l'adaptabilité des bâtiments pour répondre aux besoins évolutifs des utilisateurs. La réversibilité est donc étroitement liée aux assemblages mis en œuvre au sein d'un bâtiment. Elle permet le démontage et la récupération sélective de pièces de construction sans endommager les composants qu'elles relient [VUB, 2019].

Quels sont alors les éléments susceptibles d'être déconstruits ?

Au-delà de la composition des différentes couches d'un bâtiment, il faut veiller aux assemblages des différents éléments. La possibilité de démonter un objet dépend de ses caractéristiques physiques et de son mode d'assemblage. En effet, il faut noter que « le type d'assemblage a une influence sur les impacts environnementaux et sanitaires et sur la fin de la vie » [Trachte,2019]. Ainsi, il est fondamental d'utiliser des composants réversibles qui puissent se détacher à l'aide d'assemblages secs.

En effet, on distingue deux grands types d'assemblages : les assemblages secs et les assemblages humides.

Les assemblages secs n'utilisent aucun liant, colle ou mortier et se fixent soit, grâce à un élément intermédiaire (assemblage sec indirect) comme les clous, les vis et les boulons, soit, sans élément intermédiaire (assemblage sec direct) comme les clips, l'emboîtement ou la pose flottante.

En revanche, les assemblages humides utilisent le mortier colle, le ciment ou d'autres liants. Ces assemblages sont très peu flexibles et réversibles et sont donc à proscrire.

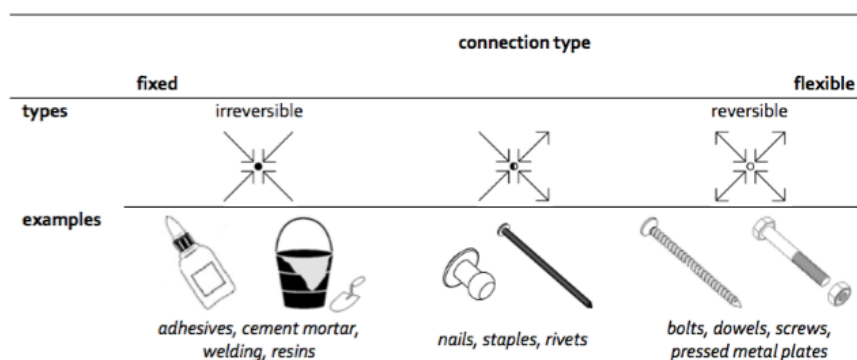
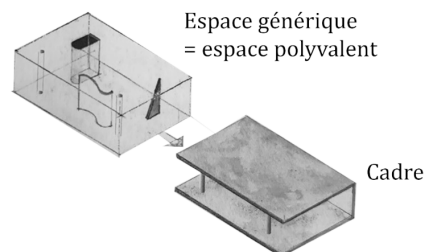


Fig. 14 : Types de connexions

Source : Paduart, 2012

Un bâtiment composé de couches adaptables pourra évoluer avec les besoins des utilisateurs. Les changements et modifications du cycle de vie du bâtiment sont inévitables [Brand,1994]. Par conséquent, les édifices ne permettant aucune transformation sont souvent voués à être remplacés, abandonnés ou démolis.

Cette échelle rejoint le concept de Leupen de la structure fixe qui accueille des systèmes indépendants et dynamiques pouvant être déplacés librement. Les principes de ce concept sont donc la flexibilité des composants et la séparation des fonctions pouvant être rassemblées à un seul endroit. Ceci est surtout avantageux pour les services et la circulation facilitant leur accessibilité en vue d'un entretien ou d'un démontage.



*Fig. 15 : Cadre et espace générique de Leupen
Source : Leupen, 2006*

Une autre approche qui lui est similaire est celle de la préfabrication des éléments. Elle permet un préassemblage des composants et facilite alors leur mise en œuvre. Cependant cette préfabrication nécessite de développer des éléments standardisés.

Le concept qui y est lié est celui des kit-of-parts, ou « assemblage en kit », qui s'appuie sur des systèmes d'éléments de construction robustes, polyvalents, compatibles et maniables. Il s'agit d'éléments préfabriqués pour optimiser leur processus de production et de construction et pour augmenter leur potentiel de réemploi. Ces éléments s'appliquent non seulement aux éléments structurels mais aussi à un niveau interne comme aux éléments de cuisine et cloisons de bureaux. Le concept des assemblages en kit peut être étendu des bâtiments individuels aux bâtiments multiples. En effet, si les composants sont conçus avec des accords mutuels (forme et dimension), ils peuvent s'adapter à d'autres projets. Il ne s'agit donc pas forcément de standardiser les éléments par une modularité mais de maximiser la comptabilité des modules et donc d'augmenter les possibilités de réemploi [VUB,2019].

Synthèse

La notion clé de cette échelle est de concevoir les bâtiments comme banque de matériaux qui permet d'envisager notre environnement bâti comme une source de composants valorisables qui peuvent être récupérés lorsqu'ils ne trouvent plus leurs usages dans le bâtiment initial. Ceci est dû, comme déjà mentionné avant, aux changements d'usage ou à la dégradation des matériaux. Dans le cas du matériau dégradé, celui-ci peut être utilisé dans une fonction mineure ou, suivant l'échelle de Lansink, être recyclé en nouveaux matériaux de construction ou dans le pire des cas mis en décharge.

Les bâtiments

La dernière échelle concerne le bâtiment. Il doit s'adapter de manière interne et externe selon l'évolution des demandes des utilisateurs et de son contexte. Ici, il convient de définir la notion de l'adaptabilité.

L'adaptabilité est la capacité d'un bâtiment à s'adapter efficacement par la transformation des espaces et de ses composants pour répondre à l'évolution des demandes des utilisateurs et du contexte. Elle est liée à la notion de la réversibilité par des composants mobiles et interchangeables pour faciliter les reconfigurations. Lorsqu'un bâtiment est adaptable, sa durée de vie fonctionnelle et économique peut être prolongée par des rénovations qui permettent d'accueillir de nouvelles fonctions. Avec la prolongation de la durée de vie d'un bâtiment, la pression sur les ressources en matières premières diminue ainsi que la production des déchets et donc l'impact environnemental global [VUB, 2019].

- Adaptabilité interne

Au niveau interne, on distingue deux types d'adaptabilité : l'adaptabilité au sein d'une même fonction comme par exemple un logement qui peut changer son organisation spatiale ou intervertir les fonctions des espaces, et l'adaptabilité à des fonctions différentes comme le logement qui peut s'adapter en bureau. L'adaptabilité est donc fortement dépendante de la structure et de son volume. Elle dépend aussi de la temporalité, c'est-à-dire de sa capacité de changer ses espaces dans le futur [VUB, 2019]. Il s'agit alors de concevoir un bâtiment de manière dynamique pour qu'il puisse donner lieu à plusieurs interprétations de l'espace dans le temps et ne pas fournir une réponse unique.

Les deux principes de conception associés à l'adaptabilité sont la polyvalence et la modularité. Ils contribuent tous les trois à une construction circulaire, car ils permettent de prolonger la durée de vie d'un bâtiment. Leupen ajoute encore deux autres types de bâtiment permettant l'adaptabilité des espaces : le bâtiment extensible et temporaire. Ces différentes notions sont expliquées ci-après.

Un bâtiment peut être considéré comme polyvalent s'il peut s'adapter et répondre à des besoins changeants de plusieurs utilisateurs sans modifications de sa structure de base. Il peut être adapté à des fonctions différentes par des modifications mineures comme le déplacement de cloisons démontables ou de meubles permettant la délimitation et l'agrandissement des espaces. Cette polyvalence se trouve renforcée par des dispositions ouvertes avec des espaces bien connectés et généreux. Une conception polyvalente permet d'éviter l'obsolescence et évite des rénovations inutiles nécessitant du temps et des matériaux, prolongeant ainsi la durée de vie des bâtiments et de leurs composants [VUB, 2019]. Il faut faire attention à ne pas confondre un bâtiment multifonctionnel et un bâtiment polyvalent. En effet, un bâtiment multifonctionnel peut accueillir plusieurs fonctions en même temps alors qu'un bâtiment polyvalent accueille plusieurs fonctions mais qui se succèdent. Ce dernier joue donc sur la temporalité du bâtiment. Dans le cadre de ce travail, les deux types nous intéressent.

La modularité désigne tout ce qui est modulable et s'applique à toutes les échelles du bâtiment : le matériau – les composants – les espaces intérieurs – le bâtiment. Elle permet des bâtiments innovants par une simplicité de déplacement et d'adaptabilité des usages et une standardisation et gestion de ressources [bruxellesenvironnement.be, 2017].

La modularité est souvent engagée par les nouveaux modèles familiaux ou les nouvelles formes de logements qui ont émergé ces dernières années, nécessitant un agrandissement ou un rétrécissement de l'espace intérieur afin d'accueillir plus ou moins de personnes (ex : divorce, mariage, famille recomposée, cohabitat...).

Le bâtiment extensible est un bâtiment qui peut s'agrandir à l'aide d'extensions qui sont jointes au bâtiment existant. Ces extensions sont anticipées dès la conception. Elles sont donc vues comme la partie variable du projet et peuvent abriter différentes fonctions au fil du temps.

Le bâtiment temporaire est un bâtiment qui a une durée limitée et peut donc être complètement démontable grâce à sa structure préfabriquée et ses assemblages réversibles. Il sert uniquement en tant que solution temporaire pour répondre à des besoins immédiats. Les projets construits sont souvent de petite échelle pour faciliter la mise en œuvre.

- Adaptabilité externe

Au niveau externe, on parle des changements possibles sur les parois protectrices du bâtiment (toiture et façade). Le plus souvent on agit sur l'adaptabilité de la façade pour changer son aspect selon les envies et les modifications qui se font d'un niveau interne. Cette adaptabilité peut se faire par l'emploi de modules permettant sa démontabilité et donc un changement facile dans le futur. Le travail en modules permet non seulement le changement esthétique mais également le changement partiel d'un module dans le cas des usures ou de composants défectueux le constituant (ex : parement, isolant...).

2.3 Synthèse des pistes de réponses théoriques

Pour conclure cette partie théorique, il s'agit maintenant de déceler les critères à retenir de ces différentes stratégies et qui peuvent contribuer à la conception d'un bâtiment durable et évolutif.

L'évolutivité et la durabilité d'un bâtiment dépend de facteurs multiples. Nous les avons divisés en deux grandes catégories : le spatial et le social. Ils doivent pouvoir répondre de manière efficace aux besoins actuels et futurs pour garantir l'évolution du bâtiment.

Le spatial concerne l'organisation intérieure et extérieure du bâtiment.

Afin de permettre la pérennité de la construction dans son ensemble, il est important de jouer sur sa durée de vie. Pour assurer une longue durée de vue, il est essentiel de concevoir un bâtiment qui peut s'adapter aux changements d'usages et dans le respect de l'environnement. En effet, un bâtiment adaptable permet de prolonger la durée de vie économique et fonctionnelle jusqu'à ce qu'ils atteignent la durée de vie technique. Pour ce faire, il faut donc agir sur les couches du bâtiment et travailler avec des éléments facilement échangeables et accessibles pour prolonger la durée de vie du bâtiment dans son ensemble. En ce qui concerne le choix des matériaux, une des possibilités est de concevoir le bâtiment avec des matériaux durables, tenant compte de leurs cycles de vie différents mais aussi de leur impact environnemental sur l'environnement et inversement. Des matériaux sains et durables permettent de s'inscrire dans le respect de l'échelle de Lansink et de se tenir dans la partie haute de la pyramide de la prévention et de la réduction des déchets.

Le social concerne tout ce qui se déroule en dehors du bâtiment mais aussi les fonctions qu'abritent le bâtiment devant être adapté au contexte et aux besoins changeants du quartier. Il s'agit donc des relations environnementales et sociales que le bâtiment détient avec son entourage. Ici, le projet doit s'implanter sur un site accessible que le bâtiment doit enrichir sans le dénaturer. Ainsi, la volumétrie et les fonctions du bâtiment doivent permettre la création d'espaces intéressants, adaptables aux besoins des habitants et amener de la mixité au quartier pour animer les lieux.

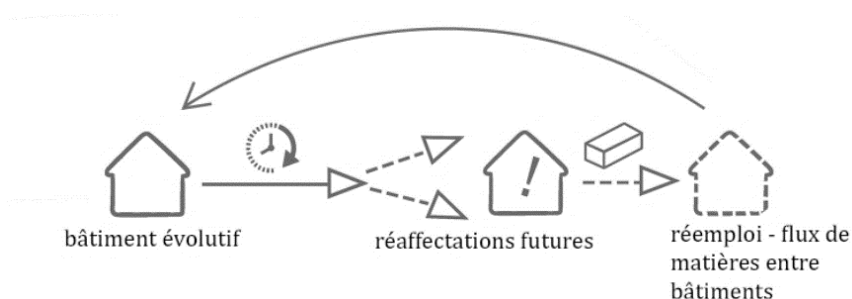
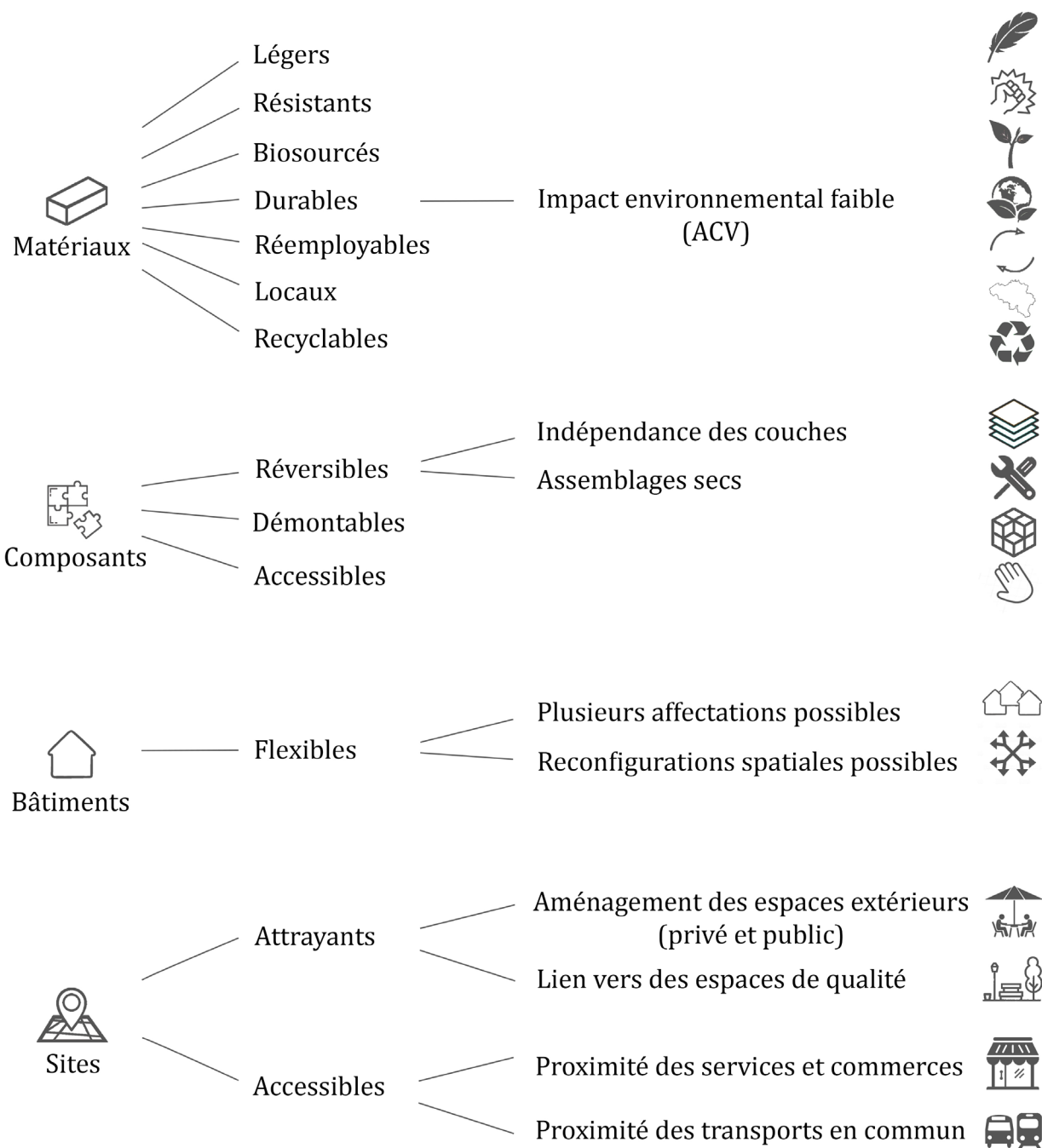


Fig. 16 : Objectif
Source : Schéma réalisé par l'auteure

3. Catalogue de références

3.1 Critères d'évaluation des projets

Pour la bonne réalisation d'un bâtiment durable et évolutif, différents critères ont été définis par l'auteur.



N.B Les critères du site ne sont pas repris dans la synthèse parce qu'il s'agit de critères qu'on peut retrouver dans la plupart des projets. Il est néanmoins important de les lister ci-dessus pour souligner leur importance afin de garantir l'existence et le développement d'un projet. De plus, ils permettent de donner des idées d'aménagements public pour ce dernier.

3.2 Projets étudiés

3.2.1 Herman Hertzberger – Centraal Beheer office complex

Nom	Centraal Beheer office complex
Architecte	Herman Hertzberger
Fonction	Bureaux
Implantation	Apeldoorn, Pays - Bas
Année	1972
Surface	30.536 m ²

Présentation

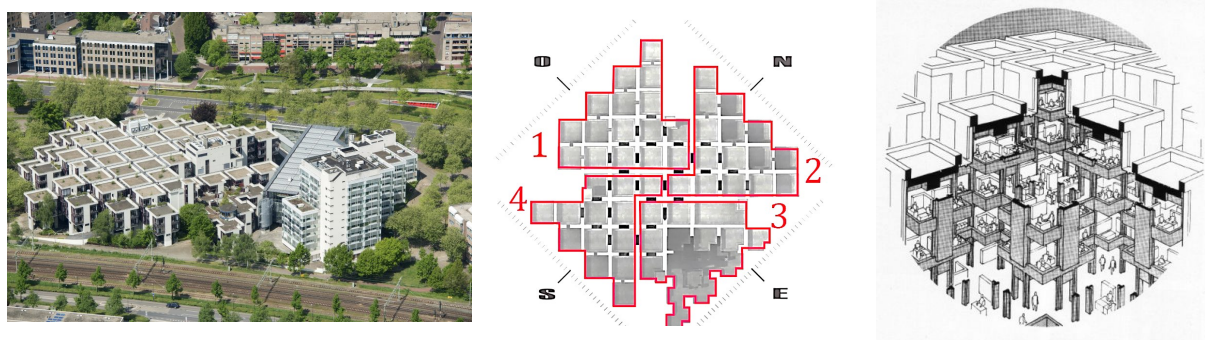


Fig. 17 : Vue sur le projet ; Composition du projet et orientation ; Création de balcons en hauteur
Source : AHH, 2020

Le Centraal Beheer Office complex s'implante à Apeldoorn aux Pays-Bas. Il s'agit d'un projet avec des modules de géométrie simple qui se répètent plusieurs fois en se déclinant en un rassemblement de d'îles multiples. Le projet a été composé à partir de 4 'quadrants' et s'inscrit dans un carré. Les côtés sont orientés selon les quatre points cardinaux. La disposition en diagonale et de larges ouvertures donnent lieu à des vues intéressantes et très variées. Chaque module dispose de jardins/balcons généreux.

Analyse

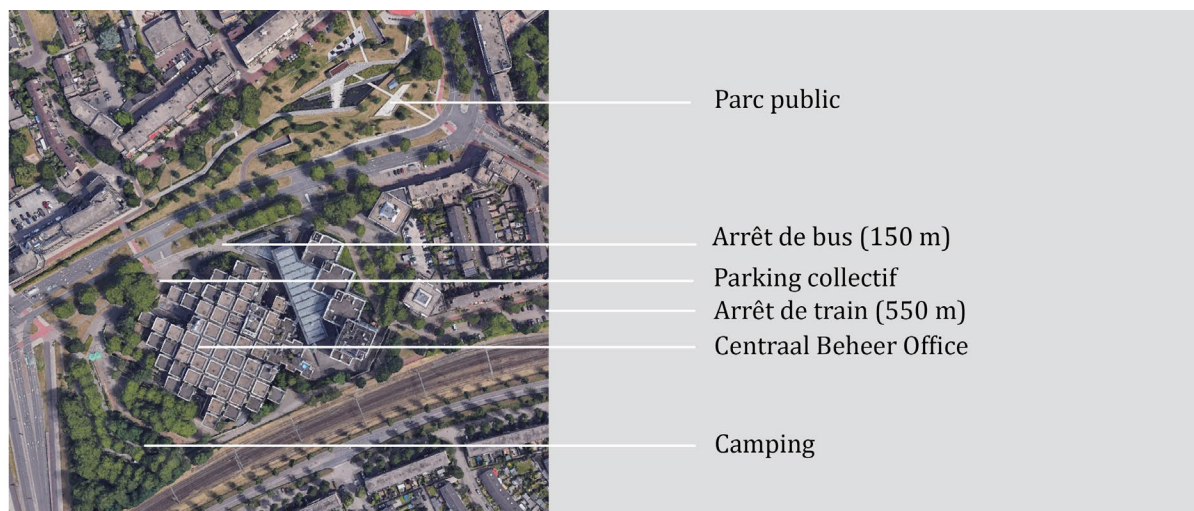


Fig. 18 : Plan d'implantation
Source : Schéma réalisé par l'auteure. Image reprise sur google earth

- Site

Le projet s'implante dans un milieu assez fréquenté, riche en commerces et services, à côté de l'autoroute principale et du chemin de fer. Le bâtiment est accessible en train ou en bus mais aussi en voiture vu l'existence de deux parkings sur site. Il a une vue vers un espace vert au Sud qui abrite un camping en son milieu, et se situe proche d'un parc public.

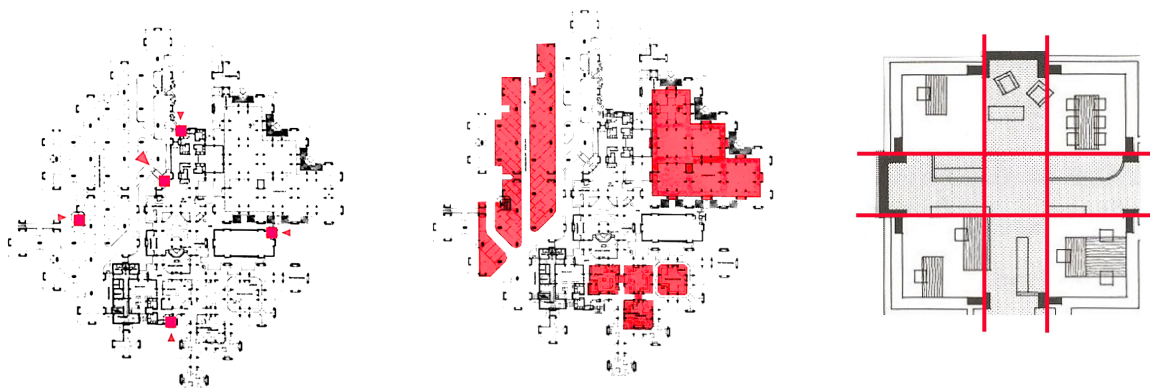
- Structure, Matériaux et Flexibilité

Le bâtiment est accessible par 5 entrées qui mènent aux 5 noyaux de circulation verticale. Sa structure est faite en béton préfabriqué et en maçonnerie. Chaque module est soutenu par 4 larges poteaux en maçonnerie qui montent en hauteur pour former le revêtement de façade. Ils se situent au milieu de chaque côté du module au droit des couloirs intérieurs. Ceci donne une première indication de la répartition des espaces depuis l'extérieur.

Les diverses fonctions du projet sont réparties selon les 4 quadrants. Au rez-de chaussée, dans son quartier Est, le projet abrite un restaurant et une bibliothèque. Au nord, se trouvent les premiers bureaux. Au sud et à l'ouest on retrouve les deux niveaux de parkings.

Le projet est travaillé de façon modulaire avec des carrés de 9 sur 9 m. Le choix s'est porté sur ces dimensions précises pour permettre la sous-division en 4 carrés de 3 sur 3 m ou de 3,5 sur 3,5 m dépendant de l'espace laissé à la circulation. En fait, ces sous-carrés définissent un espace de travail idéal qui peut accueillir jusqu'à 4 personnes (voir fig.19).

Il s'agit d'un espace très flexible et polyvalent dû à son plan libre. Il est adaptable d'un point de vue interne pour une même fonction, avec des configurations d'espaces de bureaux différentes, et pour d'autres fonctions, permettant l'adaptabilité en restaurant, expositions ou salles de devoirs. La connexion entre les modules se fait via des passerelles.



*Fig. 19 : 5 accès aux 5 noyaux centraux (à gauche) ;
Répartition du rez-de-chaussée (milieu) ;
Répartition d'un module de bureau (à droite)
Source : Hertzberger, 2014. Plans retravaillés par l'auteure.*

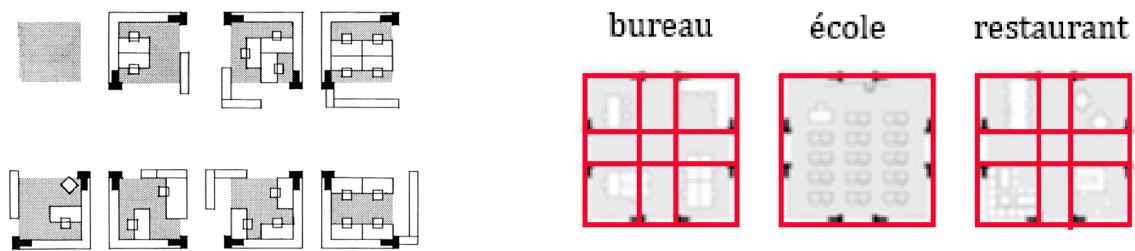


Fig. 20 : adaptabilité à une même fonction (reconfiguration spatiale bureau) (à gauche) ;
 Adaptabilité à d'autres fonctions (à droite)
 Source : AHH, 2020. Plans retravaillés par l'auteure.

Point de vue critique

Le projet est implanté à un endroit très stratégique et crée des liens avec son environnement. Le concept de plan libre donne lieu à des configurations spatiales très diverses ainsi que la possibilité à des affectations différentes. Cependant, le projet est trop ancien pour avoir intégré des concepts de démontabilité et la réflexion n'était pas encore assez portée à l'emploi de matériaux biosourcés, réversibles et respectueux de l'environnement mais plutôt aux matériaux présentant des qualités structurelles. Ceci explique l'emploi de la structure en béton, matériau principalement choisi pour sa longévité et sa résistance [guidebeton.com]. Dus à son haut degré de flexibilité interne et à son implantation, elle permet d'être conservée et élargie en multipliant les modules. On a peu d'informations sur l'enveloppe du bâtiment, mais l'orientation du bâtiment donne la possibilité à des vues assez diverses, et les ouvertures sont assez larges pour s'adapter à plusieurs fonctions.

Néanmoins, le projet est encore trop pensé de manière fonctionnelle et technique. La forme générale reste très rigide et répétitive. On est donc contraint par le module et on ne pense plus en termes de qualité d'espace et de création de lieux pour rendre le projet plus souple et dynamique.

Critères d'évaluation d'un bâtiment durable et évolutif auxquels le projet répond :

Matériaux

- Résistants (structure en béton et en maçonnerie)
- Réemployables (modules de structure)
- Recyclables (structure en béton et en maçonnerie, note : même s'ils sont plus difficilement recyclables)



Flexibilité du bâtiment

- Plusieurs affectations possibles (plan libre)
- Reconfigurations spatiales possibles (plan libre)



3.2.2 CANAL – Cité internationale de Cuques

Nom	Cité internationale de Cuques
Architecte	CANAL Architecture et VINCI Construction France
Fonction	Logements
Implantation	Aix-en-Provence, France
Année	2015
Surface	8400 m ²



Fig. 21 : Vue d'ambiance cité internationale de Cuques
Source : CANAL Architecture, 2015

Présentation

Il s'agit de la réalisation de 350 logements étudiants neufs à Aix-en-Provence qui se répartissent en 3 bâtiments de 3 étages. Cette résidence universitaire a été conçue en tenant compte des évolutions possibles des modes d'habiter dans le temps, des changements d'affectations ainsi que la mutualisation des espaces. L'objectif était de créer un bâtiment avec une bonne qualité de vie et des éléments réversibles.

Analyse



Fig. 22 : Plan d'implantation
Source : Schéma réalisé par l'auteur. Image reprise sur google earth

- Site

Le projet s'implante au milieu d'une parcelle et est entouré d'espaces verts publics et collectifs. Il se trouve à proximité de commerces et de services diversifiés et de transports en commun.

- Structure, Matériaux et Flexibilité

Il s'agit d'une structure dalle-champignon, constituée de dalles en béton coulé et de poteaux disposés selon une trame de 3 sur 6 mètres. Les dalles mesurent entre 12 et 14 mètres de profondeur afin de permettre les reconfigurations spatiales pour une multitude de fonctions. En effet, les plateaux, d'une hauteur de 2,7 mètres, permettent d'accueillir des étudiants mais aussi des seniors ou encore des bureaux avec des apports de lumières suffisants. Les noyaux de circulation verticale et les circulations horizontales prennent leur place le long d'une des façades permettant d'avantage une grande liberté d'agencement des espaces intérieurs. Les salles d'eau, les cuisines et les rangements constituent un bloc préfabriqué et sont transportés sur chantier et posés sur les plateaux pour une mise en oeuvre plus rapide. Selon le bureau d'architecture, 90% des éléments peuvent être conservés en cas de transformation du bâtiment.

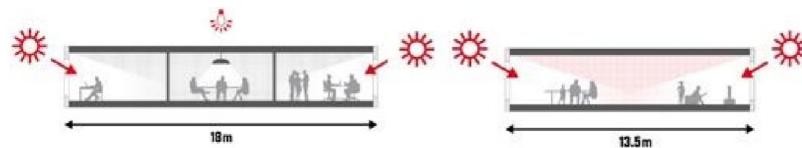


Fig. 23 : Profondeur des locaux et lumière naturelle
Source : CANAL architecture, 2015

Certains espaces de la façade ont été préfabriqués et permettent de répondre à une grande demande de logements en un temps très limité. Ainsi, les modules de façade non porteurs en ossature à bois peuvent être facilement modifiés lors d'un changement d'affectation. Pour résister à la monotonie de la façade, des balcons et loggias ont été mis en place.

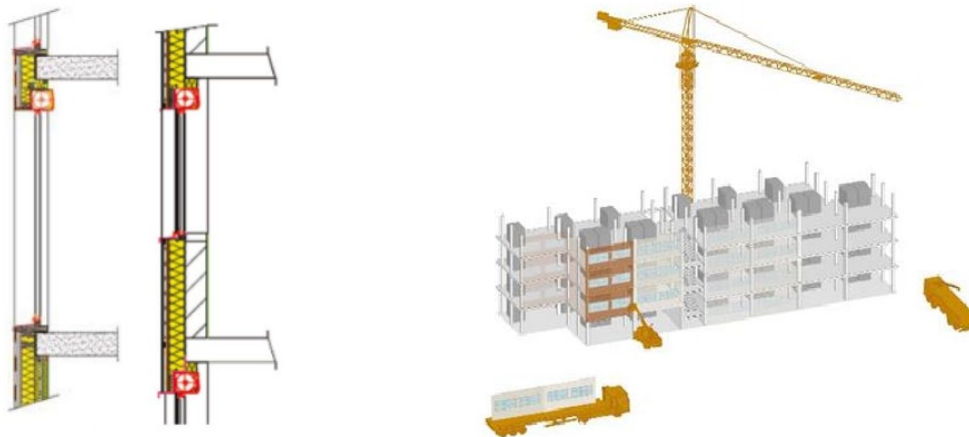


Fig. 24 : Coupe du système constructif (à gauche)
Schéma de la manutention des modules (à droite)
Source : Pelegrin-genel, 2013



Fig. 25 : Adaptabilité logements (en rouge : circulation, en bleu : pièces d'eau)
 Source : CANAL Architecture, 2015. Document retravaillé par l'auteur.



Fig. 26 : Adaptabilité bureaux (en rouge : circulation, en bleu : pièces d'eau)
 Source : CANAL Architecture, 2015. Document retravaillé par l'auteur.

Point de vue critique

L'aménagement des espaces autour du projet et la proximité des services, des transports et des espaces verts contribuent à la création d'un lieu attrayant et de qualité. La profondeur des plateaux, le choix de la structure ainsi que la disposition de la circulation en périphérie permettent une grande flexibilité des espaces et une multitude d'affectations tout en garantissant un apport de lumière suffisant. Néanmoins, le positionnement de la circulation le long des façades enlève la possibilité de création des balcons des deux côtés et peut causer des problèmes d'intimité. De plus, un tel positionnement est un potentiel pour la création de logements traversants, mais cette possibilité n'a pas été exploitée.

La préfabrication de certains éléments permet de rassembler certaines fonctions, et la conservation de 90% des éléments lors d'un changement d'affectation contribue à la mentalité de zéro déchet.

Critères d'évaluation d'un bâtiment durable et évolutif auxquels le projet répond :

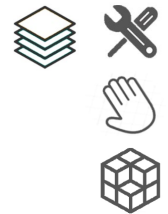
Matériaux

- Légers (façade constituée de modules à ossature bois non portants)
- Résistants (structure en béton)
- Biosourcés (modules de façade en bois)
- Durables (modules de façade en bois)
- Réemployables (modules de façade démontables)
- Recyclables (structure en béton, éléments en bois, composants du module)



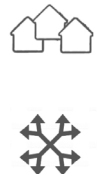
Composants

- Réversibles (zones indépendantes techniquement)
- Accessibles (techniques, façade)
- Démontables (modules de façade démontables individuellement)



Flexibilité du bâtiment

- Plusieurs affectations possibles (profondeur des plateaux, structure dalle-champignon, circulation en périphérie)
- Reconfigurations spatiales possibles (profondeur des plateaux, structure dalle-champignon, circulation en périphérie)



3.2.3 LP Promotion – Appel à projet Urbalab

Nom	Initiative Urbalab
Promoteur immobilier	LP Promotion
Fonction	Appel à projet Urbalab : nouvelles formes d’habitat
Implantation	/
Année	2016
Surface	11.000 m ²

Présentation

Il s’agit d’un appel à projet mené par Bordeaux Métropole sur la problématique des nouvelles formes d’habitat. Le promoteur LP Promotion a été retenu avec sa proposition innovante sur le thème de « J’y suis, J’y reste ».

Analyse

- Site

Un terrain doit encore être trouvé pour donner vie à ce projet. Pour l’instant, seuls les concepts sont à notre disposition.

- Structure, Matériaux et Flexibilité

Le projet d’Urbalab permet de s’adapter à toutes les configurations familiales, tout au long de la vie. Il s’intéresse aux différents modes familiaux comme le divorce, les familles monoparentales ou recomposées, le retour des étudiants chez leurs parents...

Ces nouveaux modes de vie induisent de nouvelles façons de vivre dans un logement. C’est ainsi que LP Promotion a développé des logements plus flexibles en gardant une structure fixe avec des légères modifications pour répondre aux besoins changeants des habitants. Les logements se composeront d’espaces à vivre modulables conçus autour d’un noyau central. Ceci a le grand avantage que les reconfigurations spatiales se feraient assez rapidement et sans travaux supplémentaires. Ces modifications seront faites en fonction des besoins des utilisateurs qui se partagent un espace commun et se distribuent les pièces.

En plus de s’adapter aux habitants, ces logements seront rationalisés pour limiter leur empreinte écologique. Le projet intègre des planchers en béton à forte inertie thermique et des isolants en fibre de bois biosourcés. Enfin, les logements s’adapteront également en fonction des saisons. Ainsi, en hiver, les terrasses seront fermées et abritées grâce à des parois mobiles. En été, les parois sont enlevées et transformeront la terrasse en solarium.

Voici, les modifications selon les différents scénarii que ces logements peuvent subir tout au long de leur vie. La structure reste fixe et le logement est agrandi/modifié par des ouvertures dans les cloisons séparatrices.

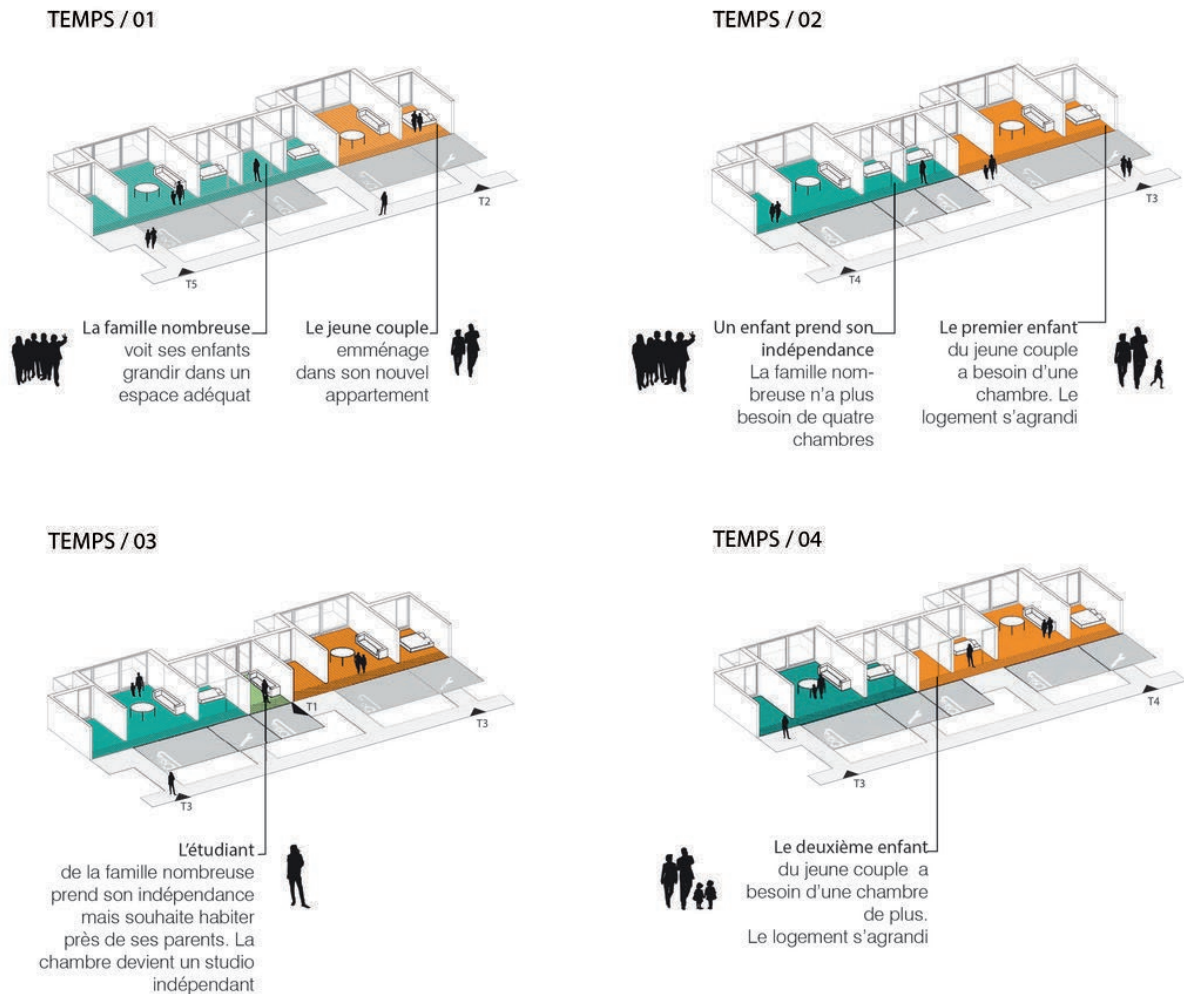


Fig. 27 : Scénarii : Logements modulables et durables
Source : LP Promotion, 2016

Point de vue critique

Le projet permet les reconfigurations spatiales en nécessitant peu d'intervention de travaux. Le concept est intéressant d'un point de vue de la pérennité de la structure et la modularité interne qui suit les besoins des habitants tout au long de leur vie. Néanmoins, le projet manque un peu d'explication en ce qui concerne la composition de la façade, l'emploi des matériaux ainsi que de schémas ou de détails techniques montrant le fonctionnement de ces cloisons 'modifiables'. De plus, le projet ne propose qu'un seul type d'adaptabilité. Vu qu'on n'a aucune information sur le système structurel on ne sait pas prédire si le projet permet l'adaptabilité à d'autres fonctions.

Critères d'évaluation d'un bâtiment durable et évolutif auxquels le projet répond :

Matériaux

- Biosourcés (isolant en fibre de bois)
- Durables (isolant en fibre de bois)
- Recyclables (béton, isolant en fibre de bois)



Flexibilité du bâtiment

- Reconfigurations spatiales possibles (cloisons modifiables)



3.2.4 Eric Marchal et Quentin Wilboux – Écoquartier du Pic-au-Vent

Nom	Écoquartier du Pic-au-Vent
Architecte	Eric Marchal, Quentin Wilboux
Fonction	Logements
Implantation	Tournai, Belgique
Année	2017
Surface	1,78 ha



*Fig. 28 : Façades avant et arrière de l'écoquartier du Pic-au-Vent
Source : Boccara, Marchal, Wilboux, 2017*

Présentation

Il s'agit de la construction de 36 maisons passives dans l'idée de redensifier un quartier pavillonnaire des années 70 et de créer un écoquartier. Les maisons sont réparties en trois ensembles autour d'un parc paysager. Une première phase est constituée par des maisons Patios avec des toitures à deux versants qui créent une forme en « L » et des maisons Balcons, également avec des toitures à deux versants en bas du terrain. La deuxième phase est formée par les maisons Jardins représentées par un bâtiment courbé. Passé le porche d'entrée sous les maisons Balcons, cette courbe, qui prend naissance sous celles-ci, resserre la séquence urbaine avant l'ouverture vers la placette, le parc et la maison de quartier. Elle permet également le dégagement de jardins pour les maisons Jardins.

Analyse

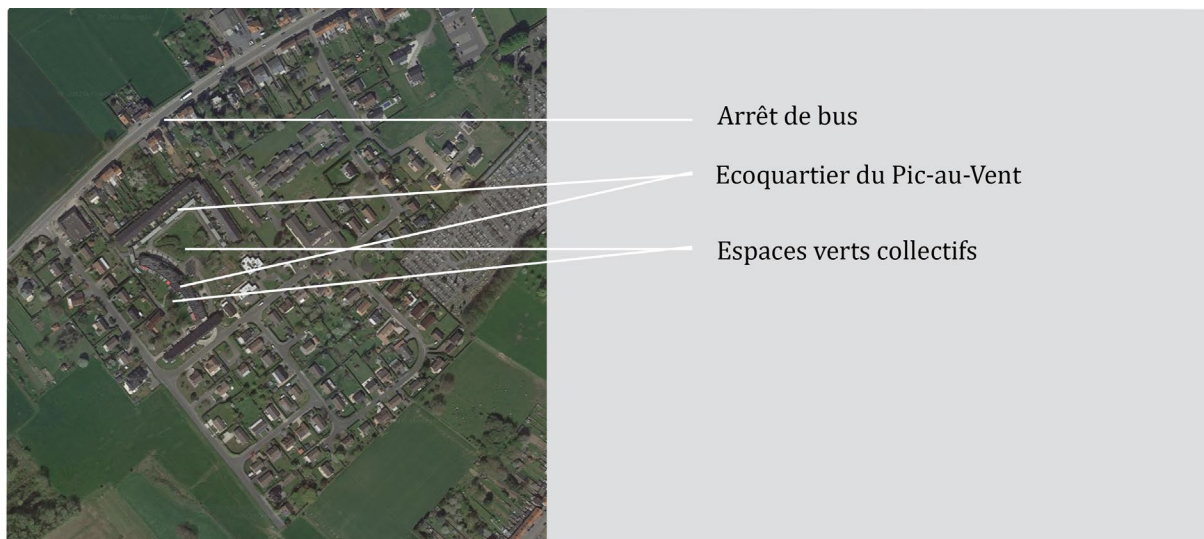


Fig. 29 : Plan d'implantation
Source : Schéma réalisé par l'auteure. Image reprise sur google earth

- Site

Le projet s'implante à l'écart du centre de Tournai et se trouve proche des champs. Il se trouve tout de même proche de la route et d'un arrêt de bus ainsi que des commerces et des services. L'écoquartier occupe le centre d'une parcelle et forme une place verte en son milieu ainsi que des jardins devant le bâtiment en L et le bâtiment courbé.

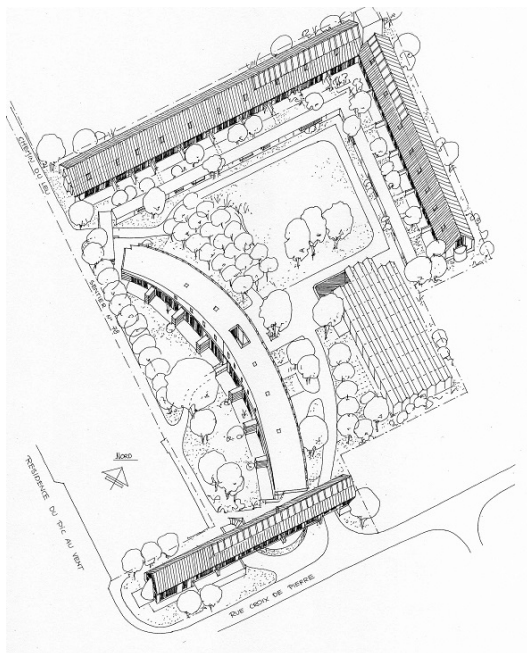


Fig. 30 : Plan masse de l'écoquartier

20 maisons Patios

- jardins privés, ateliers et carports
- aménagements intérieurs libres
- surfaces de 92 m² à 200 m² habitables

8 maisons Jardins

- jardins arborés sous une grande toiture courbe
- façade végétalisée, larges terrasses protégées
- surfaces de 115 m² de plain-pied à 250 m² habitables sur 2 niveaux

8 maisons Balcons

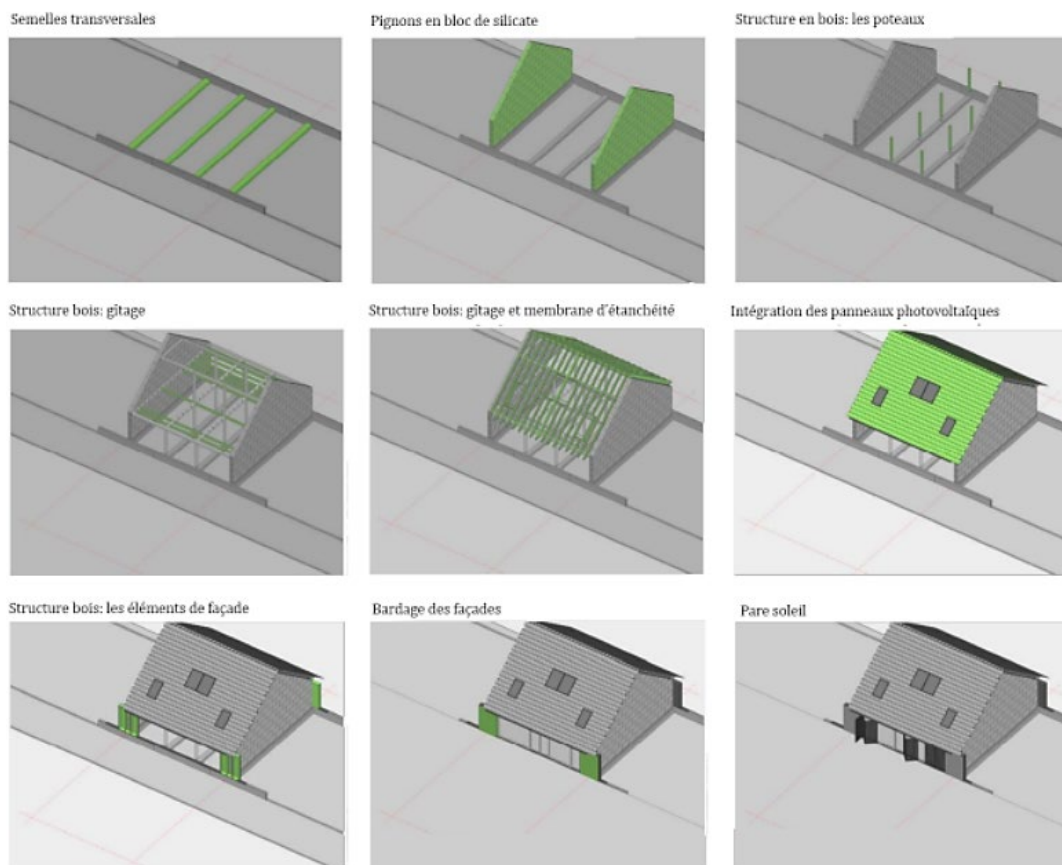
- maisons « bel étage » avec chambres sous combles, terrasses ou jardin au sud
- surfaces de 105 m² à 180 m² sur 2 niveaux

Source : Boccara, Marchal, Wilbaux, 2017

- Structure, Matériaux et Flexibilité

Le système structurel se base sur des fondations préfabriquées et des semelles transversales. Il s'agit d'une structure en bois constituée de 8 poteaux en bois et des pignons en blocs de silicate sur lesquels se posent le gîtage et les chevrons en bois ainsi qu'une membrane d'étanchéité.

Les objectifs du projet relient les trois piliers du développement durable et vont même plus loin. Ainsi pour les architectes, les qualités à rencontrer sont de l'ordre de la densification de l'habitat, de l'énergie en construisant des maisons mitoyennes pour diminuer les surfaces d'échange avec l'extérieur et par l'ajout d'apports solaires via des panneaux photovoltaïques en toiture. L'apport de soleil est également réglé par les pare-soleils en façade. Un autre objectif était les choix écologiques et environnementaux qui se traduisent par des matériaux à faibles impacts environnementaux tout en garantissant une très longue durée de vie aux constructions.



*Fig. 31 : Système structurel d'une maison Patio
Source : Boccara, Marchal, Wilbaux, 2017*

Point de vue critique

Le projet est très intéressant d'un point de vue écologique et environnemental. En effet, il va au-delà de la construction et traite aussi les abords du quartier tout en s'inscrivant dans une logique de développement durable. Le système structurel permet une mise en place facile et sa déconstruction grâce à l'emploi d'assemblages réversibles. Cependant, le projet parle peu des espaces intérieurs et d'éventuelles reconfigurations spatiales ou de changement d'affectation. Néanmoins, vu sa structure basée sur des poteaux, permettant ainsi une grande liberté du plan intérieur, on peut considérer que le projet permet des reconfigurations ainsi que des affectations différentes.

Critères d'évaluation d'un bâtiment durable et évolutif auxquels le projet répond :

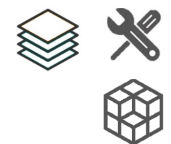
Matériaux

- Légers (structure et éléments en bois)
- Résistants (structure en maçonnerie et en bois)
- Biosourcés (structure et éléments en bois)
- Durables (éléments en bois)
- Réemployables (structure et éléments en bois)
- Recyclables (structure en maçonnerie et éléments en bois)



Composants

- Réversibles (indépendance des couches, assemblages secs)
- Démontables (structure et éléments en bois)



Flexibilité du bâtiment

- Plusieurs affectations possibles (structure à poteaux)
- Reconfigurations spatiales possibles (structure à poteaux)



3.2.5 BAMB, VUB, Kaderstudio – Circular Retrofit Lab

Nom	Circular Retrofit Lab
Architecte	BAMB, VUB, Kaderstudio
Fonction	Laboratoire du réemploi et accessoirement : bureau, exposition, logement
Implantation	Bruxelles, Belgique
Année	2019
Surface	180 m ²

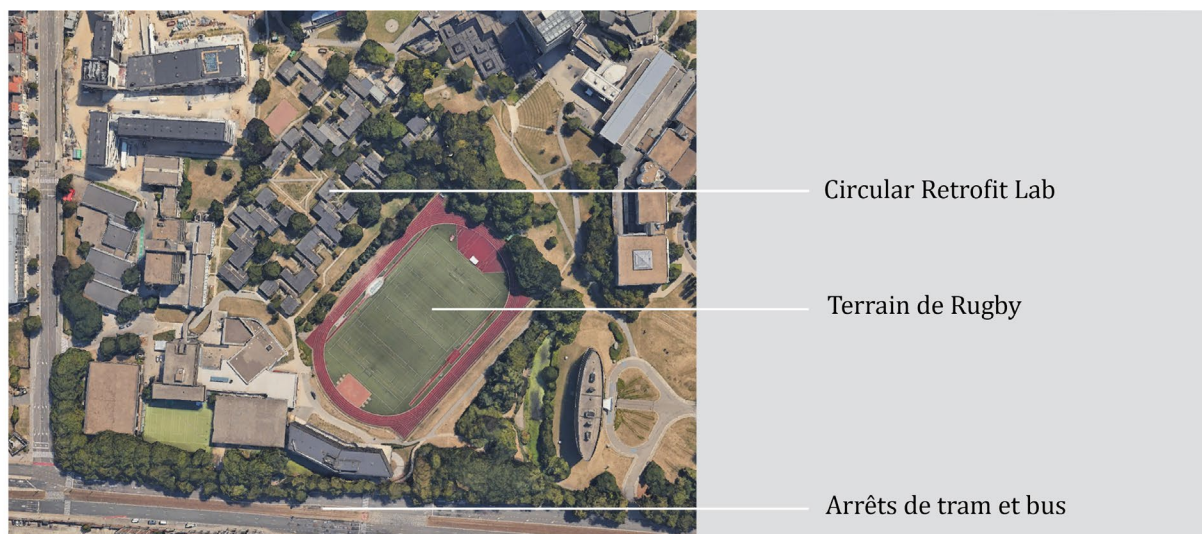
Présentation

Le projet consiste en la rénovation de kots étudiants construits par Willy Van Der Meeren en 1973. Seulement, la structure existante en module de béton préfabriqué a pu être conservée. En effet, l'architecture des années 70 n'était pas du tout pensée en termes de démontage des éléments, rendant le réemploi onéreux.



*Fig. 32 : Façades du Circular Retrofit Lab
Source : BAMB, VUB, Kaderstudio, 2019*

Analyse



*Fig. 33 : Plan d'implantation
Source : Schéma réalisé par l'auteure. Image reprise sur google earth*

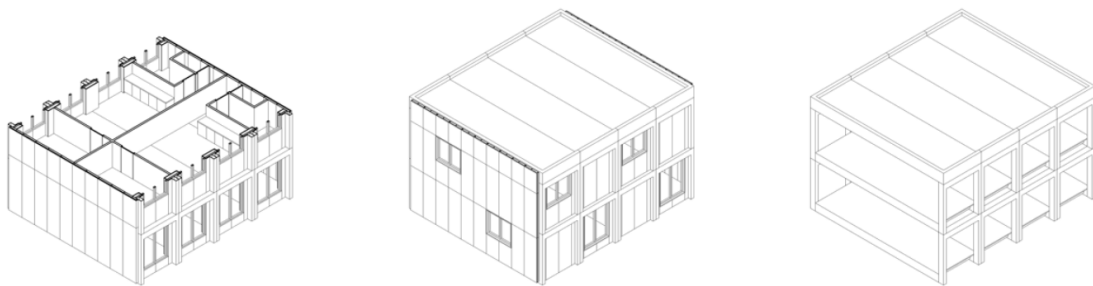
- Site

Le projet se trouve à l'intérieur de parcelles et est à proximité d'un terrain de rugby et entouré d'espaces verts. Le site est bien desservi en transports en commun et les commerces et services se trouvent à proximité.

- Structure, Matériaux et Flexibilité

L'objectif du projet était de concevoir un bâtiment démontable, adaptable et avec des éléments réversibles. L'approche de modularité, de préfabrication et d'assemblages en kits a permis une flexibilité d'assemblages et une efficacité en manutention et de mise en œuvre. Dans la même logique, les architectes ont travaillé avec des assemblages secs, réversibles et rigides ainsi qu'avec des matériaux pouvant résister à des usages multiples sans subir des dommages.

Le projet est composé de modules en béton préfabriqué, modulable selon les envies. Le bâtiment présente différents niveaux de flexibilité. Ainsi, son intérieur permet les reconfigurations spatiales, la façade est démontable et les châssis en bois des fenêtres peuvent changer de position en fonction de l'affectation en s'insérant dans la façade rideau. Les modules préfabriqués de la façade s'accrochent à la structure existante à l'aide d'équerres métalliques qui viennent s'ancrer dans les colonnes en béton. Afin de permettre l'emplacement de gaines verticales et d'assurer une continuité de l'isolant, ils passent derrière la structure mettant les éléments de façade en retrait. De nouvelles techniques ont été intégrées afin d'améliorer les performances du logement. Ils doivent être le plus réversibles possibles. Les tuyaux de ventilations ont donc été laissés apparents et non cachés dans le faux plafond, ce qui facilite notamment leur maintenance.



*Fig. 34 : Flexibilité interne, flexibilité externe, structure
Source : BAMB, VUB, Kaderstudio, 2019*

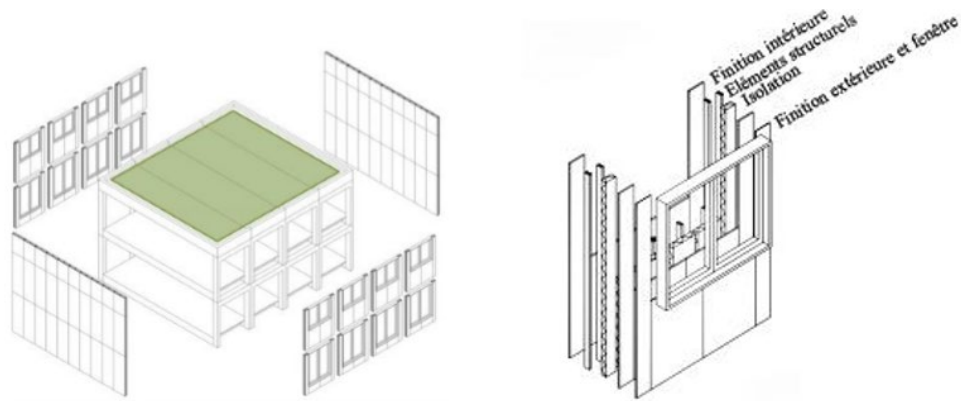


Fig. 35 : Démontabilité de la façade ; détail du module de façade
Source: BAMB, VUB, Kaderstudio, 2019

Différents scénarii ont été explorés pour les transformations internes et externes ainsi que pour les multiples reconfigurations fonctionnelles qu'offre le module. En fonction du taux de changement du plan, trois types de cloisons ont été définis :

- 1) Taux de changement élevé
- 2) Grande flexibilité pour l'intégration de techniques
- 3) Taux de changement bas

Le bâtiment présente trois types d'affectations possibles :

- 1) « Dissemination Space » : Conférences ou expositions sur l'avancement du projet BAMB, etc.
- 2) « Eco Guesthouse » : Logements à l'étage
- 3) « Temporary Plug-In Offices » : Bureaux

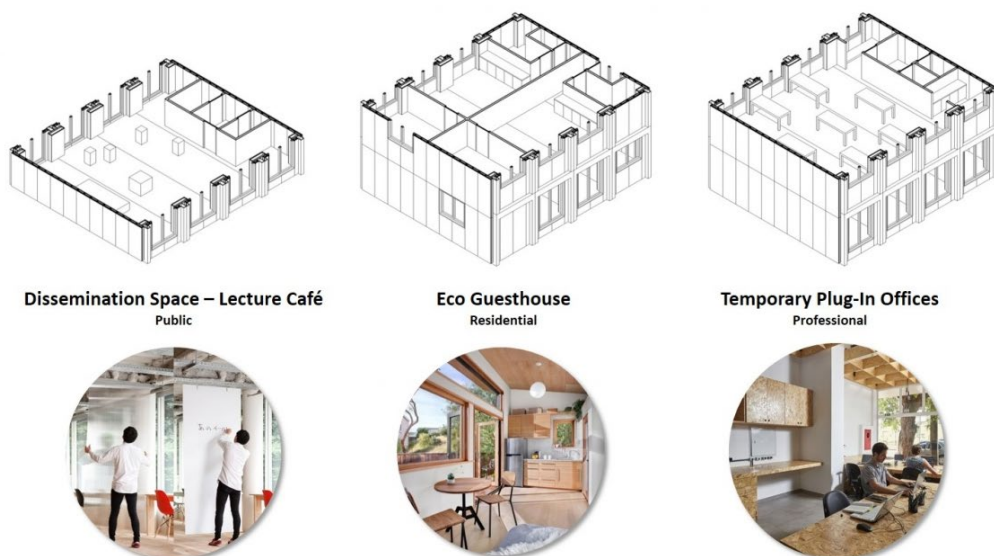


Fig. 36 : 3 types d'affectations (conférence/expositions, logements, bureaux)
Source: BAMB, VUB, Kaderstudio, 2019

Les architectes ont effectué plusieurs essais de parois démontables intérieures. Ils ont expérimenté différents scénarii pour que la paroi soit pertinente au niveau de sa durée de vie et de son coût. Ainsi, le Gyproc ne s'inscrit pas dans une logique de durabilité (impact environnemental) et d'autres systèmes plus écologiques ont été testés.

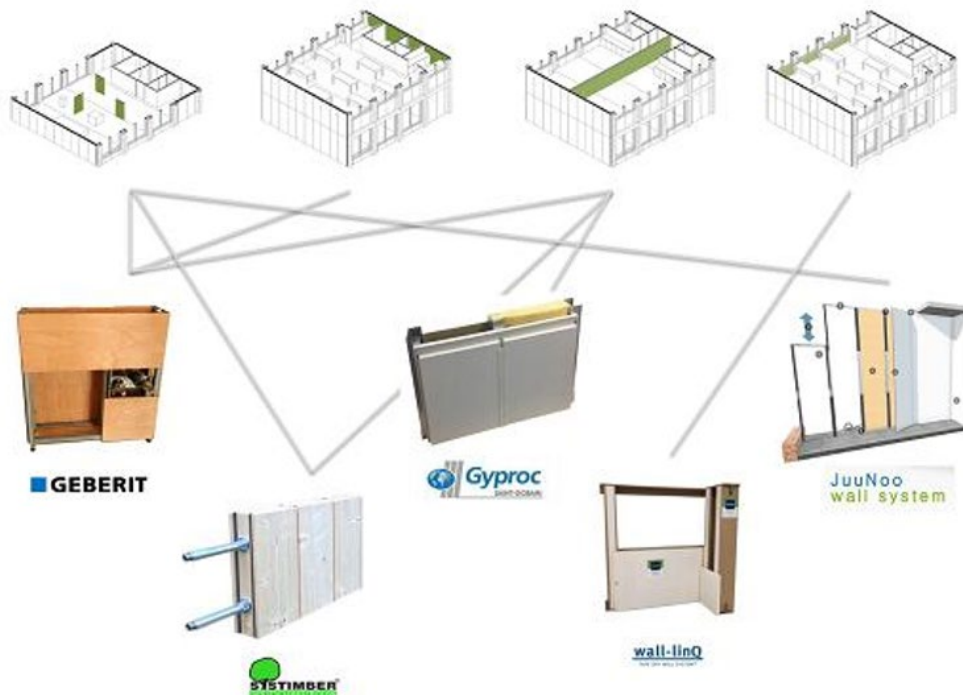


Fig. 37 : Composition des parois
BAMB, VUB, Kaderstudio, 2019

Point de vue critique

Le projet est implanté à un endroit diversifié et soutient des liens avec son contexte. Il est surtout intéressant d'un point de vue technique et d'adaptabilité. Le travail effectué sur les différents types de parois démontables laisse la place à diverses configurations spatiales tout en pensant à la durée de vie des différents matériaux. Les techniques apparentes permettent un haut niveau d'accessibilité, néanmoins ceci est peu esthétique et est un aspect peu souhaitable pour des fonctions plus intimes tels que les logements. En outre, le fait de laisser les colonnes et poutres apparents nécessite une attention particulière portée à l'étanchéité et l'isolation thermique des éléments afin d'éviter des ponts thermiques.

Critères d'évaluation d'un bâtiment durable et évolutif auxquels le projet répond :

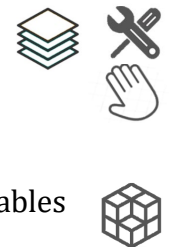
Matériaux

- Résistants (structure en béton)
- Biosourcés (éléments en bois)
- Durables (éléments en bois)
- Réemployables (modules de structure et de façade)
- Locaux (Belgique)
- Recyclables (structure en béton, éléments en bois)



Composants

- Réversibles (zones indépendantes techniquement, couches indépendantes)
- Accessibles (techniques, façade)
- Démontable (modules de structure et de façade démontables individuellement)



Flexibilité du bâtiment

- Plusieurs affectations possibles (plan libre)
- Reconfigurations spatiales possibles (plan libre)



3.2.6 Ateliers de l'Avenir - Système CIMEDE

Nom	CIMEDE (Construction Industrielle de Maisons Évolutives, Durables et Économiques)
	Atelier de l'Avenir
Fonction	Système constructif pour du logement
Implantation	/
Année	2008-2019
Surface	/

Présentation



*Fig. 38: Fabrications des modules
Source: Atelier de l'avenir, 2019*

Le concept CIMEDE (Construction Industrielle de Maisons Évolutives, Durables, et Économiques) est un système constructif passif et préfabriqué en bois.

Analyse

Cette construction en bois a plein d'avantages. Sa construction se fait majoritairement en atelier et seulement quelques interventions se font sur le site même. La préfabrication des modules offre une grande précision et une meilleure étanchéité à l'air et à l'eau, une diminution de prix et des ressources premières utilisées. Sa mise en œuvre comprend plusieurs étapes : l'usinage des profilés, l'assemblage de la structure remplie d'isolant et sa fermeture. Certains modules sont également pourvus de châssis. Les planchers et techniques sont aussi industrialisés. Les cloisons des types de bâtiments CIMEDE sont amovibles.

Un deuxième projet appelé CIMEDE 2 est en cours avec la volonté d'être plus flexible en pouvant changer de taille selon les demandes des utilisateurs par des cloisons mitoyennes déplaçables. Il pourrait aussi être décliné sous forme d'appartement dans des immeubles d'autres fonctions comme des écoles, des bureaux, des crèches et des centres d'hébergement. De plus, les façades seront adaptables, ainsi, les châssis pourront être

déplacés librement et le parement extérieur pourrait être changé au cours du temps. CIMEDE 2 aurait aussi la possibilité d'ajouter des étages allant jusqu'à 5 niveaux. À l'intérieur, les logements peuvent être agrandi pour pouvoir ajouter une chambre ou pour créer plus de place pour par exemple des personnes à mobilité réduite. Actuellement, CIMEDE 2 est encore en train de chercher des solutions pour que les techniques spéciales suivent ces mouvements. Pour ce faire, une étude est en train d'être menée pour qu'elles deviennent évolutives aussi.

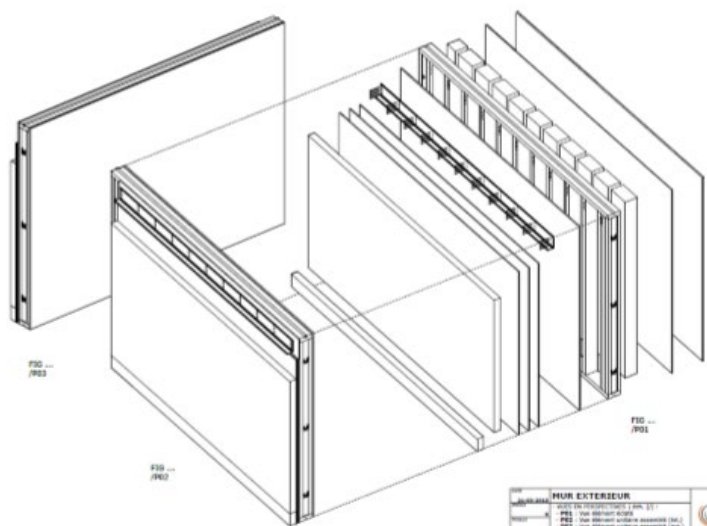


Fig. 39 : Composition des modules préfabriqués
Source : Atelier de l'avenir, 2019

Point de vue critique

Le projet est intéressant d'un point de vue de démontabilité et de préfabrication des éléments autre que la structure. Le système CIMEDE 2 promet d'être plus intéressant parce qu'il s'intéresse à tous les composants du bâtiment et permet une plus grande flexibilité interne surtout en ce qui concerne les reconfigurations spatiales des logements.

Critères d'évaluation d'un bâtiment durable et évolutif auxquels le projet répond :

Matériaux

- Légers (structure en bois et éléments à base de bois)
- Bisourcés (structure en bois et éléments à base de bois)
- Durables (structure en bois et éléments à base de bois)
- Réemployables (cloisons et murs démontables)



- Recyclables (composants des modules)



Composants

- Réversibles (indépendance des couches, assemblages secs)
- Accessibles (cloisons, façade)
- Démontables (murs, cloisons)



Flexibilité du bâtiment

- Plusieurs affectations possibles (cloisons et murs déplaçables, façade modifiable)
- Reconfigurations spatiales possibles (cloisons et murs déplaçables, façade modifiable)



3.2.7 Kaderstudio – Everyone’s hill

Nom	Everyone’s hill
Architecte	Kaderstudio
Fonction	Système constructif pour du logement
Implantation	Lausanne, Suisse
Année	?
Surface	11.000 m ²



Fig. 40: Vue sur L'Everyone's Hill
Source: KADERSTUDIO

Présentation

Le projet est constitué de 3 bâtiments parallèles. Il cherche à établir une relation spatiale avec le terrain et la nature, et une balance entre public et privé. Pour ce faire, le rez-de-chaussée est activé en créant des vues à travers le site mais aussi des espaces plus intimes entre les bâtiments et à l'intérieur des noyaux centraux.

Analyse

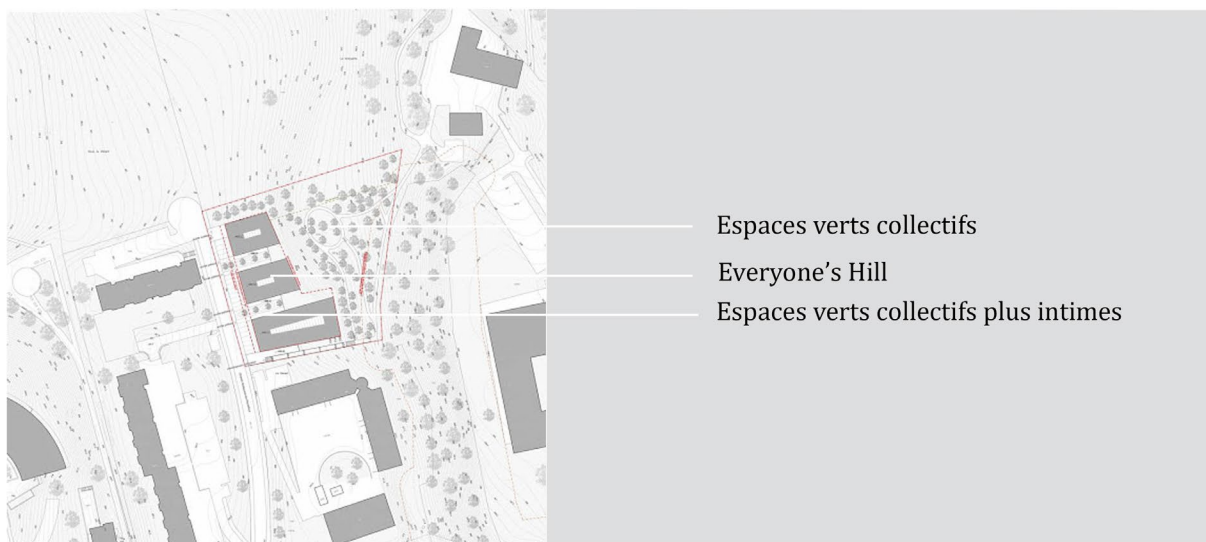


Fig. 41 : Plan d'implantation
Source : Schéma réalisé par l'auteur. Image reprise sur google earth

- Site

Le bâtiment se trouve sur une colline avec un espace extérieur en contrebas. Les espaces verts sont très présents et font la qualité du site. Vu qu'il s'agit d'un projet de concours, on n'a pas d'informations sur le lieu de son implantation et son entourage (commerces, services, transports en commun...)

- Structure, Matériaux et Flexibilité

Le système des trois bâtiments se base sur trois noyaux concentriques qui varient en taille d'un bâtiment à l'autre.

Il s'agit du noyau de circulation, du noyau technique et du noyau de vie. La structure suit ces trois noyaux, ce qui lui confère une certaine liberté de configuration au sein d'un même appartement. La structure est faite en béton et aluminium.



*Fig. 42 : Système à 3 noyaux concentriques (à gauche) ; Ambiance extérieure (à droite)
Source : KADERSTUDIO. Document retravaillé par l'auteure*

Point de vue critique

Le projet s'intéresse beaucoup à l'aménagement des espaces et a réussi à créer un équilibre entre espace public et privé.

Cependant, il fournit peu de renseignements sur l'enveloppe mais on peut remarquer que l'apport de lumière est réglé par des stores qui peuvent se plisser horizontalement. À nouveau, le choix de la structure s'est porté sur du béton pour sa résistance et sa capacité à perdurer dans le temps. Le système semble intéressant d'un point de vue spatial, mais on n'a pas d'informations sur une éventuelle reconfiguration ni sur une possible réaffectation de ces espaces.

Critères d'évaluation d'un bâtiment durable et évolutif auxquels le projet répond :

Matériaux

- Résistants (structure en béton)
- Recyclables (structure en béton, éléments en aluminum)



Composants

- Accessibles (techniques)



3.3 Synthèse des pistes de réponses pratiques

Pour mieux pouvoir comparer les différents projets étudiés, un tableau récapitulatif a été établi par l'auteure.

Légende : S : Structure, F : Façade, C : Cloison, M : Mur, E : Eléments, I : Isolant, T : Techniques

	Critères / Projets	Centraal Beheer office complex	Cité internationale de Cuques	Appel à projet Ubalab	Écoquartier du Pic-au-Vent	Circular Retrofit Lab	Système CIMEDE	Everyone's hill
<i>Matériaux</i>	Légers	+ (S : béton & maçonnerie)	++ (F : modules en bois)	+ (S : béton.. ?)	+++ (S : bois, E : bois)	+ (S : béton)	+++ (S : bois, E : à base de bois)	++ (S : béton, E : aluminium)
	Résistants	+++ (S : béton & maçonnerie)	+++ (S : béton)	+ (S : béton.. ?)	++ (S : maçonnerie & bois)	+++ (S : béton)	++ (S : en bois, E : à base de bois)	+++ (S : béton)
	Biosourcés	Non	++ (F : modules en bois)	+ (I : fibre de bois... ?)	+++ (S : bois, C : bois)	++ (E : bois)	+++ (S : bois E : à base de bois)	Non
	Durables - Impact environnemental faible (ACV)	Non	++ (F : modules en bois)	+ (I : fibre de bois... ?)	+++ (E : bois)	++ (E : bois)	+++ (S : bois, C : à base de bois)	Non
	Réemployables	+ (S : modules)	++ (F : modules démontables)	?	+++ (S : bois, E : bois)	+++ (S & F : modules)	+++ (C & M : démontables)	?
	Locaux	?	?	?	?	+++ (Belgique)	?	?
	Recyclables	+ (S : béton & maçonnerie)	++ (S : béton, E : bois, module)	++ (S : béton, I : fibre de bois... ?)	+++ (S : maçonnerie, E : bois)	++ (S : béton, E : bois)	+++ (E : modules)	++ (S : béton, E : aluminium)
<i>Composants</i>	Réversibles - Indépendance des couches - Assemblages secs	Non	+++ (Zones indépendantes techniquement)	?	+++	+++ (Zones indépendantes techniquement)	+++	?
	Accessibles	Non	+++ (T & F)	?	++	+++ (T & F)	(C&F)	++ (T)
	Démontables	Non	++ (F : modules démontables individuellement)	?	+++ (S & E : bois)	+++ (S&F : modules démontables individuellement)	+++ (C & M))	?

<i>Flexibilité du bâtiment</i>	Plusieurs affectations possibles	+++ (S: plan libre)	+++ (S : profondur des plateaux, dalle-champignon, circulation en périphérie)	?	+++ (S: poteaux)	+++ (S: plan libre)	++ (C & M : déplaçables, F : modifiable)	?
	Reconfigurations spatiales possibles	+++ (S: plan libre)	++ (S : profondur des plateaux, dalle-champignon, circulation en périphérie)	+++ (C: modifiables)	++ (S: poteaux)	+++ (S: plan libre)	+++ (C & M : déplaçables, F : modifiable)	?

Conclusion

Les éléments essentiels qu'on peut retenir de ces projets sont la détermination des éléments qui restent fixes, qui sont donc permanents, et les éléments qui peuvent connaître des modifications, qui sont donc variables. On remarque également que le choix des matériaux a des influences importantes sur leur capacité d'être réemployé et sur leur résistance et ainsi sur l'évolutivité du bâtiment. Cette comparaison de critères permet de mettre en évidence les différentes possibilités pour chaque élément afin de faciliter les choix à prendre lors de la conception du futur projet.

Idéalement, pour qu'un bâtiment puisse évoluer, il faudrait que certains de ses éléments soient pérennes, que d'autres soient adaptables et encore d'autres remplaçables. Sa structure doit durer et la position des noyaux de circulation doit permettre un maximum de possibilités d'agencement des espaces intérieurs. La façade doit pouvoir s'adapter facilement aux réaffectations et aux modes de vie évolutifs. Les équipements, quant à eux, doivent être accessibles et remplaçables. De plus, le site où le bâtiment s'implante doit être accessible et attrayant et ce dernier doit avoir un impact positif sur le quartier en favorisant les interactions avec son environnement et ses habitants.

4. Proposition d'éléments pratiques

4.1 Echelle de réversibilité

Détermination des éléments variables et pérennes

Ci-dessous, une échelle de réversibilité a été réalisée par l'auteure qui regroupe tous les éléments/composants constituant un bâtiment, classés selon leur durée de vie et leur potentiel de réversibilité. Cette échelle permet de déterminer lesquels de ces éléments sont les plus réversibles mais aussi leur nécessité de réversibilité par rapport à leur cycle de vie.

Ici, on constate que la structure est la moins réversible mais a aussi le cycle de vie le plus long. Elle est donc la moins demandeuse en réversibilité et peut donc être définie comme étant la partie fixe du bâtiment.

Elle est suivie par l'enveloppe. Ici, les 20 ans se rapportent à la couche protectrice du bâtiment donc la façade et le toit. Ces changements sont donc plutôt de l'ordre de l'esthétique et restent très subjectifs. Le reste des composants de l'enveloppe concernant l'isolant, les châssis, la structure... peuvent cependant connaître des changements qui eux sont liés aux développements techniques, normes et nouveaux matériaux apparaissant sur le marché. Ils doivent donc rester indépendants et fixés avec des assemblages secs pour permettre leur réversibilité et leur éventuelle modification dans le futur.

Le changement du parement se fait aussi selon les goûts de chacun et n'est pas étudié dans le détail.

Les services peuvent être définis comme semi-variable parce que leur emplacement est prévu à l'avance mais ils doivent être échangés assez fréquemment. Pour garantir une flexibilité accrue, il est favorable que la structure permette un percement aisé de la dalle pour l'ajout d'éventuelles trémies verticales dans le futur.

L'agencement spatial est l'élément qui est le plus apte à changer selon les besoins et envies des utilisateurs et du quartier. Il constitue donc la partie variable du projet et est étudié plus profondément.

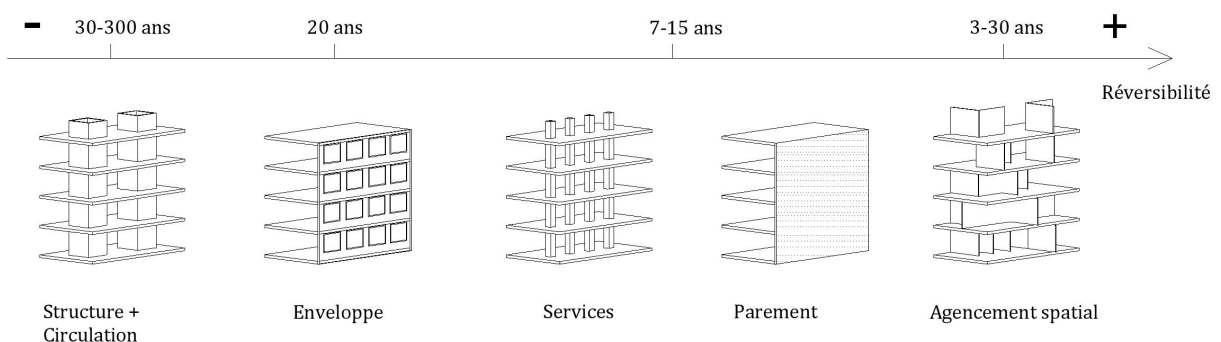


Fig. 43 : Échelle de réversibilité et cycle de vie

Source : Schéma réalisé par l'auteure, certaines images inspirées de Bohlke, Dooreman, Lasserre, Laconte, 2013

Maintenant il s'agit de définir les différentes caractéristiques pour chaque élément pour garantir l'évolutivité du bâtiment. Selon Vitruve les trois qualités précitées avant (solidité, utilité et beauté) forment la base de la conception d'architecture et doivent se trouver en équilibre afin de répondre de manière efficace à nos besoins. Chaque qualité demande une adaptabilité à des critères différents ce qui implique l'intervention aux 3 échelles vues plus haut : le matériau, le composant et le bâtiment.

Solidité (force/pérennité)

- Systèmes constructifs et matériaux innovants
 - Isolations thermiques
 - HVAC...

Utilité

- Espaces adaptables
- Caractéristiques mobiles
- Extensions du bâti
- Structures transformables

Beauté

- Design formel intemporel

*Fig. 44 : Approches et interventions aux 3 qualités de Vitruve pour répondre à l'obsolescence
Source : Schéma réalisé par l'auteure, d'après Ledent, Salembier, Vanneste, 2019*

La solidité fait référence aux aspects constructifs, techniques et matérielles. Son évolutivité est déterminée par le choix de la structure, le positionnement de la circulation et des techniques ainsi que par la réversibilité des composants et matériaux.

L'utilité concerne les aspects spatiaux. Son évolutivité se traduit par des espaces adaptables, des caractéristiques mobiles, une éventuelle possibilité d'extension du bâti et des structures transformables.

La beauté concerne les aspects esthétiques. Son évolutivité est garantie par un design formel intemporel. Le bâtiment doit donc pouvoir donner la possibilité de changer son aspect au niveau du parement intérieur et extérieur.

4.2 Composants

4.2.1 Structure du bâtiment

Comme établi avant, la structure est l'élément le moins réversible mais aussi le plus durable. Elle est donc considérée comme fixe.

Dans le cas de la construction du bâtiment évolutif, une structure doit être créée. L'objectif de cette structure est qu'elle soit pérenne afin de résister dans le temps et ceci avec tous les changements externes et internes qui pourront s'effectuer. Pour favoriser l'adaptabilité à un maximum de fonctions, le bâtiment devrait être conçu de façon à ce que la structure supporte des charges au sol de 500 kg/m² (cas des bureaux).

Il existe trois types de structure : le mur porteur, la structure poteau-poutre-dalle et la structure dalle champignon. Il est à noter que ces types de structures sont présentés sans préciser la nature des matériaux qui peuvent bien évidemment trouver leur application dans chacun des trois cas, voire même être combinés.

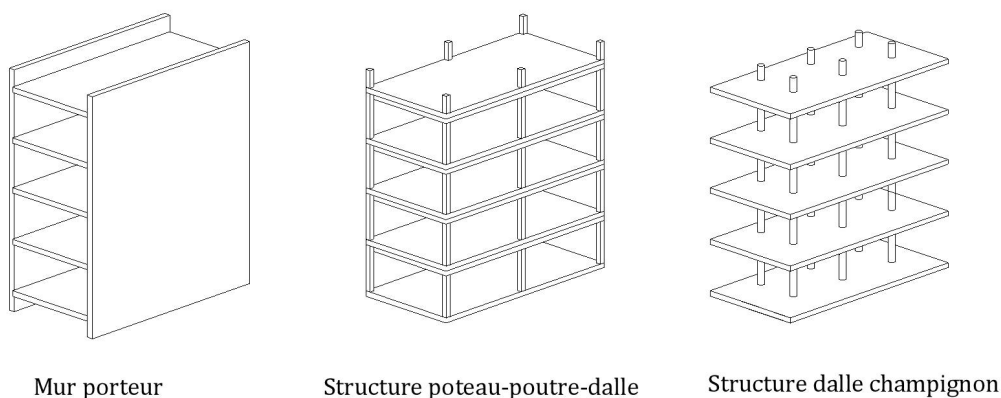


Fig. 45 : Type de structure
Source : Schéma modifié par l'auteure d'après Bohlke, Dooreman, Laconte, 2013

- Mur porteur

Dans ce type de structure, les façades et mur intérieurs sont porteurs. Il permet donc difficilement de percer ou supprimer un mur sans renforcer la structure globale. Ce type de structure est surtout intéressant pour un bâtiment de petite envergure où les planchers peuvent porter de mur à mur laissant une liberté dans l'agencement spatial.

- Structure poteau-poutre dalle

Il s'agit d'un système de plan libre qui est composé de poteaux, de poutres et de dalles auquel est ajouté un noyau central, qui sert de circulation verticale ainsi que d'élément stabilisateur. Il a le grand avantage qu'aucun élément large porteur ne gêne l'espace intérieur, ce qui permet une plus grande flexibilité de l'agencement spatial. En effet, les

poteaux porteurs offrent la possibilité d'agencer librement les espaces indépendamment des contraintes structurelles.

- Structure dalle-champignon

Les dalles-champignons sont des plaques planes en béton qui reposent directement sur des piliers.

Les plaques et piliers forment une construction monolithique résistant à la flexion. Ce système a comme grands avantages la rationalisation du volume disponible et la répartition régulière des charges. Il est surtout utilisé pour des bâtiments industriels et de bureaux où les dalles doivent supporter de grandes charges [Bohlke, Dooreman, Laconte, 2013]. Cependant, ce type de structure est très lourd, plus cher, et plus délicat pour le percement de la dalle pour la création de nouveaux noyaux ou trémies verticales. En effet, les dalles sont plus épaisses et fortement armées pour résister aux surcharges et au poinçonnement [plakagroup.fr].

Conclusion

Les deux derniers types de structure ont le principal avantage d'avoir un plan libre. La qualité d'un plan libre est qu'il procure une plus grande flexibilité et qu'il permet des recompositions spatiales multiples. La structure la plus flexible est la structure poteau-poutre-dalle parce qu'en plus d'avoir un plan libre, elle permet le percement aisé de la dalle pour l'ajout éventuel de nouvelles trémies verticales.

Pour ce type de structure, il s'agit de déterminer une trame qui permet un dimensionnement optimal de l'espace, tout en tenant compte des matériaux.

Ci-dessous, les matériaux seront analysés selon différents critères qui font notamment référence à l'éco-construction liée à leurs impacts environnementaux différents (ressources disponibles, énergie grise, caractère renouvelable, ...).

Le choix des matériaux

1) Le bois

De nos jours, de plus en plus de bâtiments utilisent une structure bois. En effet, le bois est un matériau durable, résistant, très léger et répond parfaitement aux critères environnementaux ainsi qu'aux critères des assemblages secs. De plus, le bois est un excellent isolant thermique et ne doit être renouvelé que très rarement. Cependant, une attention particulière doit être apportée à la résistance au feu. La trame du bois est souvent rectangulaire.

2) Le béton

Le béton est surtout intéressant d'un point de vue de longévité. Il permet la préfabrication et a une haute performance acoustique. Le béton présente également une bonne étanchéité contre l'air et l'eau. Cependant, il présente un bilan environnemental élevé lors de sa fabrication. De plus, il est difficilement recyclable et ne peut être transformé que par concassage. La trame du béton est souvent carrée avec des portées allant de 5 à 10m.

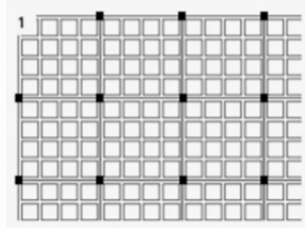


Fig. 46 : Trame de béton
Source : Bauforumstahl.de

3) L'acier

L'acier est bien adapté à la construction durable. En effet, résistant, léger et facile à former et assembler, l'acier réduit l'impact environnemental à toutes les étapes du cycle de vie d'un bâtiment. À la fin de vie du bâtiment, l'acier qu'il contient peut être recyclé à 100% pour créer de nouvel acier. En effet, l'acier produit ne quitte jamais son cycle premier. De nombreux éléments structurels peuvent être préfabriqués et permettent de réduire le risque sur chantier ainsi qu'une maintenance facile. L'acier est comparable au bois parce que sa mise en œuvre peut aussi se faire avec des assemblages secs (boulons) qui, facilitent sa déconstruction. D'un point de vue structurel, il est à la fois résistant et tenace permettant de mieux absorber de charges importantes comparé à d'autres matériaux de construction. Cependant, l'acier a besoin d'un traitement contre le feu et son recyclage nécessite des apports en énergies énormes [construiracier.fr]. La trame de l'acier est souvent rectangulaire avec des portées plus importantes allant de 6 à 15 m.

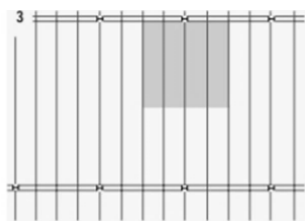


Fig. 47 : Trame de l'acier
Source : Bauforumstahl.de

Tableau récapitulatif des matériaux

Critères / Matériaux	Bois	Béton	Acier
Légèreté matérielle	+++ (P = 600 – 800 kg/m ³)	++ (P = 2 500 kg/m ³)	+ (P = 78 500 kg/m ³)
Légèreté structurelle	+++	+	++ (Excellent rapport résistance/volume)
Résistance	+ (E = 10 000 -15 000 MPa)	++ (E = 20 000 - 50 000 MPa)	+++ (E = 210 000 MPa) (Renforcement de structure aisé)
Portées	+	++ (5 - 10 m)	+++ (6 - 15 m)
Encombrement	++ (Renforcements (entraits, arbalétrier...))	+++ (Fondations importantes)	+ (Fondations réduites, plus grande transparence des espaces)
Durabilité - Impact environnemental (ACV)	+++ (Sous condition d'une gestion responsable des forêts)	+ (Energies importantes lors de : l'extraction des matières premières, la fabrication, transport, recyclage)	++ (Energies importantes en filière intégrée, produit en fin de vie reste dans le cycle (réemploi, recyclage))
Réemployabilité	+++ (Assemblages secs)	Non (Assemblages humides)	++ (Assemblages secs)
Recyclabilité	++ (Downcycling)	+ (Downcycling)	+++ (Recyclable à 100%)
Renouvelabilité	Oui (Matériau biosourcé)	Non	Non
Isolation thermique	+++ ($\lambda = 0,12 - 0,17$ W/m.K)	++ ($\lambda = 1,7$ W/m.K)	+ ($\lambda = 45$ W/m.K)
Isolation acoustique	++	+++ (Masse)	+
Influence de l'environnement	+++ (Sensible à l'humidité et aux attaques des rongeurs, et aux déformations)	+ (Sensible aux éléments corrosifs et chimiques de l'environnement, et aux déformations)	+++ (Sensible aux vibrations et aux éléments corrosifs de l'environnement)
Entretien	+++ (Protection contre l'humidité et le feu (vernis, peinture intumescente) et traitement contre rongeurs)	+ (Bonne résistance au feu et étanchéité à l'air et à l'eau)	++ (Protection au feu (peinture intumescente))

Conclusion

Chaque matériau a ses avantages et inconvénients. Le choix d'un matériau de construction dépend de différents critères. Il est choisi selon les fonctions/rôles (structure, enveloppe, parement, capacités portantes, légèreté du matériau, performance acoustique et thermique...) à assurer dans le bâtiment, les contraintes du projet (aspects réglementaires, techniques, économiques...), les différents composants (assemblages, familles de matériaux...) mais aussi selon les enjeux environnementaux (ressources, gestion des déchets, énergie, nuisances, santé...).

C'est ainsi que le choix est souvent porté sur une mixité de matériaux qui unissent les meilleures caractéristiques de chaque matériau. Bien évidemment, le matériau idéal qui répond à tous les critères listés ci-avant n'existe pas, ce qui induit de faire des compromis.

Circulation

La position du noyau de circulation est un élément déterminant parce qu'elle conditionne les agencements spatiaux. Sa position est aussi dépendante du système structurel, parce qu'il peut agir comme élément participatif au système structurel. Ceci est le cas du plan libre où le noyau joue un rôle porteur et stabilisateur du bâtiment.

Le noyau peut être placé au centre du bâtiment ou le long des façades à l'intérieur ou à l'extérieur.

- Circulation positionnée au centre du bâtiment ou à l'intérieur le long d'une des façades

Cette position est très bénéfique pour la création de logements parce qu'elle ne cause aucun problème d'ensoleillement et chaque logement dispose de vues dégagées. De plus, grâce aux façades libérées de circulation, elle permet la création de balcons sur toutes les façades. Le désavantage est que de l'espace potentiel est occupé par la circulation horizontale.

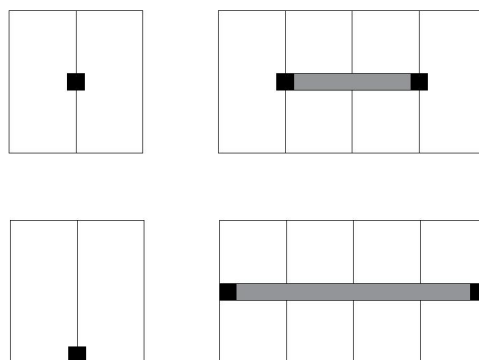


Fig. 48 : Positionnement de la circulation

1. au centre

2. à l'intérieur le long des façades

Source : Bohlke, Dooreman, Laconte, 2013

- Circulation extérieure positionnée le long des façades

L'avantage de ce type de circulation est qu'il permet la création d'appartements traversants et un plan plus libre à l'intérieur vu que toute la circulation se trouve à l'extérieur du bâtiment. Cependant, ce type de structure peut causer des problèmes d'apport de lumière naturelle et des problèmes d'intimité dus au passage fréquent par les coursives devant les façades.

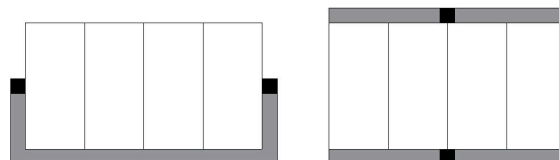


Fig. 49 : Positionnement de la circulation à l'extérieur le long des façades
Source : Bohlke, Dooreman, Laconte, 2013

Profondeur des plateaux

La profondeur des plateaux doit pouvoir accueillir des fonctions multiples. Elle ne peut pas être trop importante pour apporter suffisamment de lumière au centre des logements mais doit l'être suffisamment pour la création de fonctions nécessitant des surfaces généreuses. Dans le cas des logements, il est possible de concentrer les espaces nécessitant moins de lumière tels que les pièces d'eau au centre. De cette manière, les pièces de vie se trouveraient proches des façades pour bénéficier d'un maximum de lumière naturelle. Pour permettre la création de bureaux, la profondeur des plateaux devrait être comprise entre 13 et 18 m [Bohlke, Dooreman, Laconte, 2013].

Hauteur sous plafond

La hauteur sous plafond est fort dépendante des fonctions du bâtiment. Ainsi, la hauteur des bureaux se situe à 3,3 m, comparée à une hauteur de 2,5 m pour les logements. Afin de trouver un compromis entre ces deux types d'affectations, on a retenu une hauteur de 2,7 m [Rubin, 2015 ; Bohlke, Dooreman, Laconte, 2013]. Néanmoins, cette hauteur peut être très limitée dans le cas de création d'un faux-plafond pour l'intégration des gaines de ventilation.

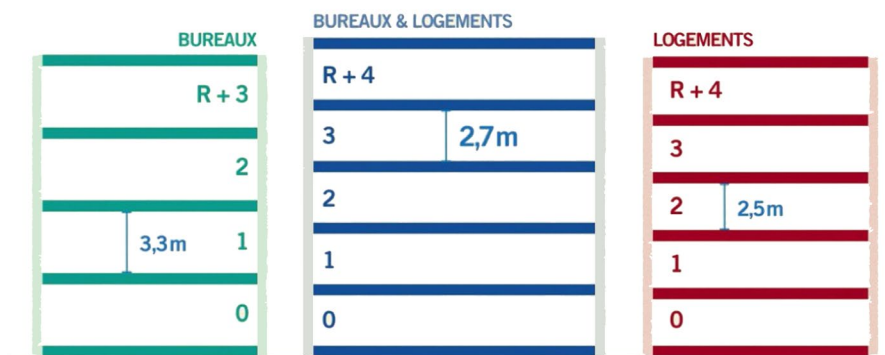


Fig. 50 : Hauteur sous plafond selon les fonctions
Source : CANAL Architecture, 2015

4.2.2 Enveloppe du bâtiment

Il est important que la façade du bâtiment soit totalement ou en partie démontable afin de faciliter son remplacement. En effet, les éléments doivent rester indépendants pour permettre leur remplacement en vue d'une peau plus performante. De plus, les châssis de la façade doivent fournir un apport de lumière naturelle suffisant aux locaux. Pour favoriser l'adaptabilité à un maximum de fonctions, les fenêtres devraient avoir une surface de vitrage équivalant à 35% de la surface au sol des bâtiments (cas des bureaux).

Comme pour la structure, il existe trois types de façade : la façade lourde porteuse, la façade lourde en béton architectonique et la façade légère mur rideau.

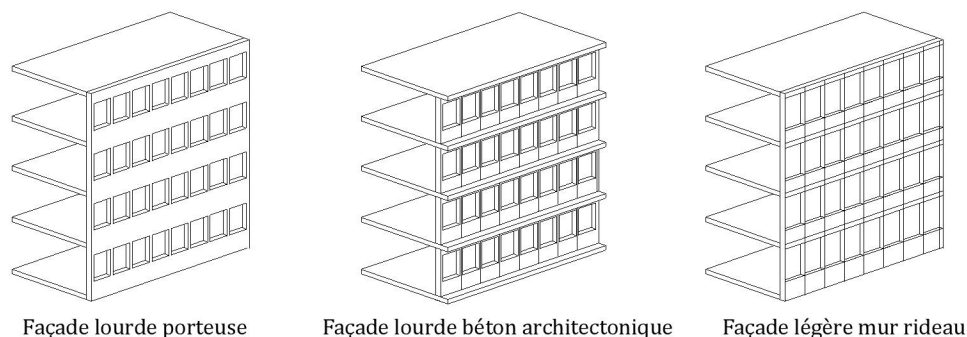


Fig. 51 : Types de façades
Source : Bohlke, Dooreman, Laconte, 2013

- Façade lourde porteuse

Cette façade est composée de matériaux comme la pierre, la brique et la maçonnerie qui lui confèrent une bonne résistance. En cas de détérioration, elle est néanmoins très difficilement remplaçable et doit souvent être entièrement détruite.

- Façade lourde béton architectonique

Ce type de façade est caractérisé par l'emploi de panneaux porteurs préfabriqués en béton permettant un remplacement partiel à condition de stabiliser le reste de la structure.

- Façade légère

La façade légère est non porteuse et assure donc uniquement la fermeture de l'enveloppe du bâtiment. Ce type de façade autoportant est souvent composé de modules (pleins ou vides) préfabriqués, permettant le remplacement partiel ou total de ces derniers sans nécessiter une stabilisation de la structure. Ceci est donc très avantageux pour effectuer des modifications de la façade.

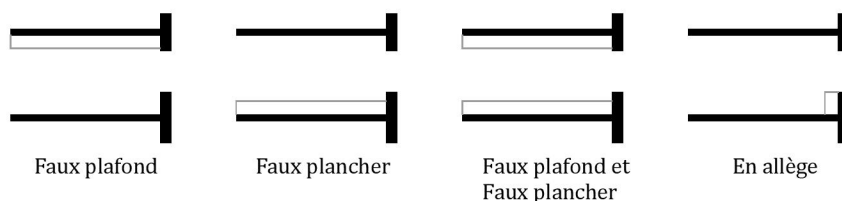
Le mur rideau est un bel exemple pour ce genre de façade.

4.2.3 Positionnement des services

Le positionnement des services est un facteur très important dans la recherche de la pérennité des bâtiments. En effet, ceci concerne notamment les immeubles des logements collectifs ou bureaux, où on retrouve un grand nombre d'installations techniques. Leur position doit être bien réfléchi et planifiée de manière scrupuleuse pour optimiser leur accessibilité et leur déconstruction, vu la nécessité de leur remplacement assez fréquent (7-15 ans).

En général, les techniques de l'électricité et d'alimentation en eau prennent entre 5 à 10 cm et peuvent donc prendre place le long du plafond ou dans le plancher. Étant donné, la grande profondeur de certains plateaux de certains bâtiments, il est plus avantageux de placer les services dans un noyau central.

Les techniques de climatisation et de chaufferie demandent un espace plus grand pouvant aller jusqu'à 60 cm. Chaque pièce doit bénéficier d'une alimentation en air neuf. Les conduits peuvent être placés soit dans un faux plancher, soit dans un faux plafond ou en allège.



*Fig. 52 : Positionnement des techniques de ventilation
Source : Bohlke, Dooreman, Laconte, 2013*

4.3 Synthèse des éléments pratiques

En synthèse, le défi consiste surtout à concevoir un bâtiment qui peut intégrer des fonctions de grande et de petite envergure. En effet, un bâtiment de bureaux ou de commerces permet d'abriter d'autres fonctions que celles initialement prévues dus à leurs dimensions très généreuses et leurs espaces très ouverts. Un bâtiment de logements par contre a plus de difficultés de s'adapter à d'autres fonctions dû à son espace souvent très cloisonné. Il est donc plus facilement adaptable d'un niveau interne (au sein d'une même fonction).

En ce qui concerne la structure, le mieux serait de mettre en place une structure mixte poteau-poutre-dalle. Une telle structure permet un plan libre et très flexible tout en combinant les atouts de chaque matériau pour une meilleure performance globale du système porteur. On parle également de plancher collaborant ou de poutre mixte : dans les deux cas deux matériaux sont combinés (un en traction (acier, bois) et un en compression (béton). Dans le cas d'une combinaison acier-béton, cette collaboration a des avantages non négligeables : capacité portante élevée, grandes portées, légèreté relative de la structure et faibles hauteurs.

Il s'agit aussi de considérer les types d'assemblage des différents matériaux au vue d'un futur démontage et en tenant compte de l'impact de l'environnement sur les matériaux et les matériaux sur leur environnement. L'acier et le bois permettent des assemblages secs tout en ayant un impact environnemental faible compte tenu de leurs cycles de vie favorables. Par contre, ces deux matériaux sont peu utilisés en tant que plancher dû à leur faible isolation acoustique et leurs sensibilités aux déformations, problématiques pour la pose de revêtements rigides (ex : carrelages). Le béton a le grand avantage d'être un meilleur isolant acoustique et d'être très résistant aux charges importantes. Une possibilité serait donc de concevoir les colonnes et poutres en acier et les planchers et noyaux en béton. Cette constellation permettrait de garder des sections relativement petites et une transparence de la structure tout en garantissant une bonne résistance aux charges et aux efforts horizontaux dus au vent.

Le bois peut être très bénéfique en tant qu'agencement spatial pour permettre le démontage de ses composants lors d'une réaffectation. De plus sa légèreté permet de réduire les charges au sol.

En ce qui concerne la circulation, celle-ci serait le mieux positionnée au centre du bâtiment pour un ensoleillement suffisant des locaux et une possibilité de créer des espaces extérieurs (ex : balcons, terrasses en hauteur, loggias).

Pour la façade, le mieux serait d'employer une façade légère permettant une indépendance par rapport à la structure et une modification ultérieure de ses modules.

Le positionnement des techniques dépend fortement du dimensionnement de la structure et des hauteurs libres souhaitées.

Tous ces éléments doivent être expérimentés et justifiés à travers le projet.

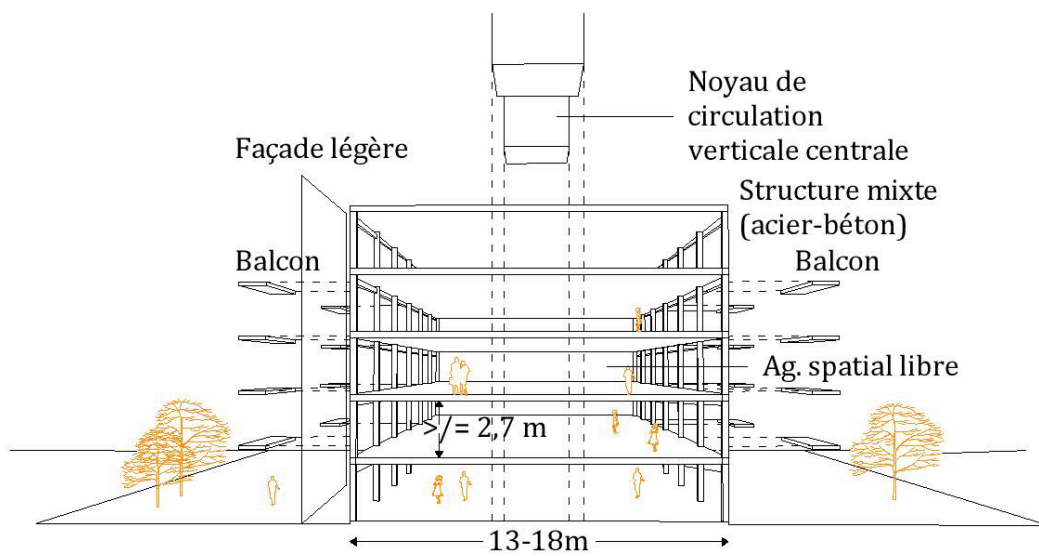


Fig. 53 : Proposition d'un premier système constructif
 Source : Schéma réalisé par l'auteur

5. Le projet

5.1 Contexte

5.1.1 Parc Astrid à Anderlecht



Le site choisi se situe dans le quartier du Meir en face de l'hôpital Joseph Bracops et du parc Astrid à Anderlecht. Le parc a été créé en 1911, d'abord sous le nom de « Parc de Meir » ou « Parc d'Anderlecht ». Ce n'est qu'après la mort de la reine Astrid en 1935 que le parc a connu le nom de « Parc Astrid ». Sa création a constitué une étape majeure dans le développement urbanistique de la commune. En effet, il remplace l'ancienne campagne bourgeoise Ruelens et quelques terrains privés adjacents. Grâce à cette conversion, le quartier du Meir se voit doter de quelques résidences de style Art Déco.

En 1917, le stade « Emile Versé » après « Constant Vanden Stock » et aujourd'hui connu sous le nom de « Lotto Park », vient s'installer dans le parc. Il accueille 200 000 places et est utilisé par le club de football du RSC Anderlecht. En 1926, l'architecte-paysagiste Jules Buyskens dessine le projet d'aménagement paysager du parc Astrid. Le relief assez vallonné et l'étang creusé après la guerre incitent Buyskens à créer des vues plongeantes sur l'eau et la végétation. Les arbres sont disposés sur la pelouse ondulante de manière à offrir des vues très changeantes sur l'ensemble du parc. En 1950, d'autres aménagements comme le pavillon Reine Fabiola, l'aubette des pêcheurs et une plaine de jeux, viennent compléter le parc.

Aujourd'hui, le parc, d'une surface de 15 hectares, accueille les bâtiments de l'école secondaire Théo Lambert, le stade ainsi qu'une brasserie au bord de l'étang. En outre, une rénovation du parc est en plein développement depuis 2016. En effet, après les premières phases d'intervention, concernant la mise en œuvre des cascates, du mobilier urbain et de l'entretien de la première partie des chemins ces dernières années, le parc rentre dans sa dernière phase. Celle-ci comprend la rénovation des chemins, des égouts et du terrain de jeux, la replantation et percées visuelles des talus, la rénovation des escaliers, l'aménagement des entrées, l'aménagement d'endroits de repos et de jeux, la restauration des sculptures existantes et du mobilier du parc ainsi que l'installation d'une nouvelle passerelle.

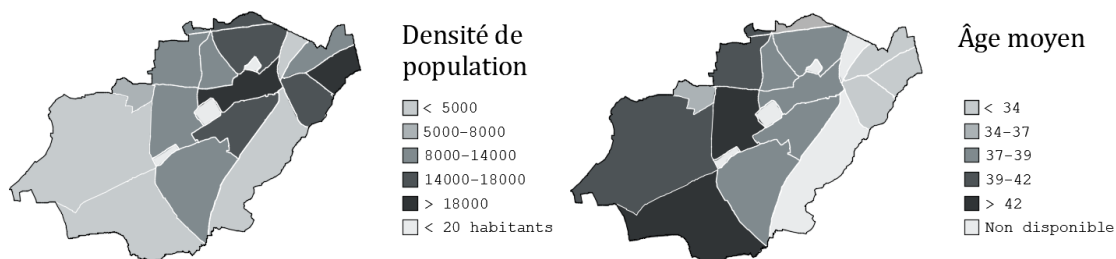


Fig. 54 : Densité de population et Âge moyen- commune d'Anderlecht
Source : <https://monitoringdesquartiers.brussels/>

Détermination du site

En collaboration avec 4 autres étudiants, une première analyse a été menée, concernant la fonction des bâtiments. Le quartier comprend une densité élevée en logements et écoles. Nous constatons également une absence totale de bureaux et une forte présence en commerces et services à l'Est du quartier.

Dans notre analyse, le parc est vu comme pôle central du quartier. Notre vision globale est de créer un quartier durable et plus animé par l'intervention à plusieurs endroits à proximité du parc. Ainsi, le projet durable et évolutif prend naissance sur la parcelle en face de l'hôpital Joseph Bracops.

Comme évoqué précédemment, le choix du site est important dans l'existence du projet. Le nouveau projet doit s'implanter à un endroit stratégique proche des transports en commun, des espaces verts et des services et des commerces. Ces derniers assurent une bonne qualité de vie et le bon développement du quartier. La diversité des services est surtout importante pour l'intégration des logements car ils participent à la cohésion sociale entre habitants et passants.

Pour confirmer ces critères, des analyses plus poussées du quartier ont été menées.



*Fig. 55 : Analyse du quartier Meir et implantation du projet
Source : Schéma réalisé par l'auteure. Image reprise sur google earth*

5.1.2 Présentation du plan masse

En collaboration avec 4 autres étudiants, un plan masse du parc Astrid et de ses abords a été réalisé.

Coupe AA'

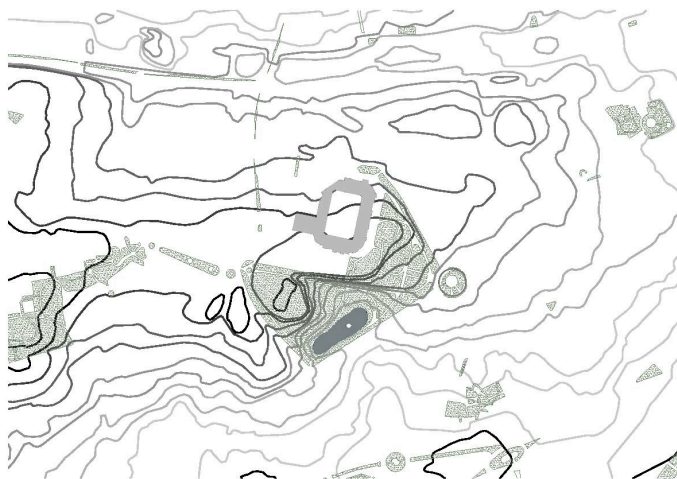


Coupe BB'

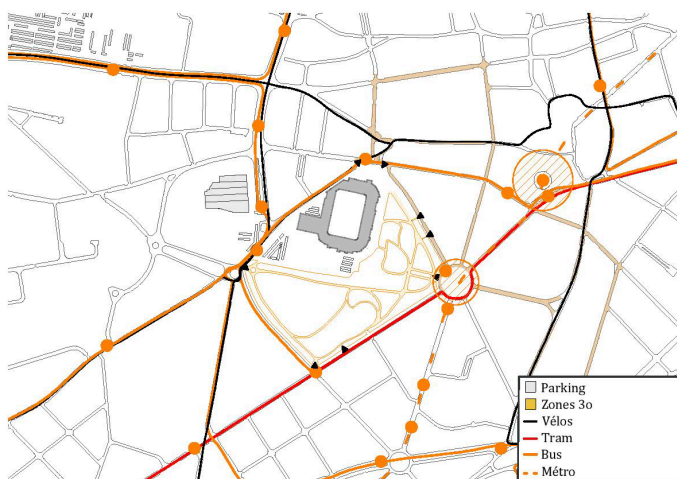


5.2 Identité et revalorisation du quartier

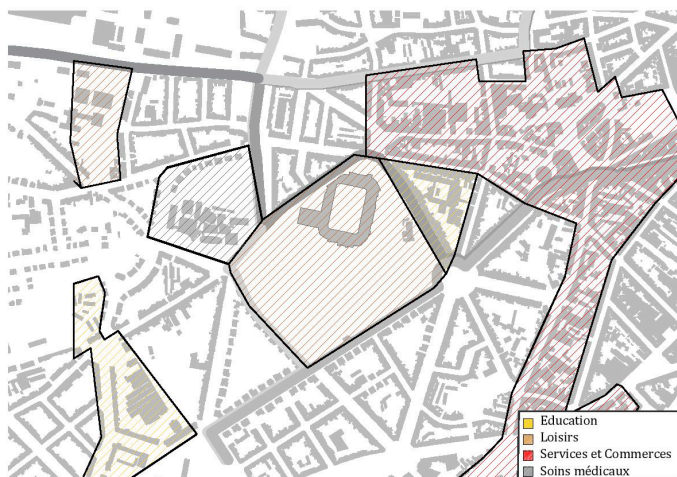
5.2.1 Lecture urbaine



Espaces verts + Topographie



Mobilité, accès au parc et parkings



Répartition des fonctions

Analyse du quartier

Manque de connexion entre espaces verts

Le quartier présente trois parcs qui ne sont cependant pas connectés. Le parc Astrid représente le parc le plus grand et est le seul qui abrite des fonctions. À noter que le stade prend 1/3 de la surface de son parc.

Mobilité : Quartier bien desservi + forte présence en parkings

Le quartier est très bien desservi et est entouré d'arrêts de bus, de tram et de métro. La station de métro St-Guidon et l'arrêt Meir représentent les pôles les plus denses en transports en commun. Néanmoins, on remarque une présence importante en parkings, liée aux besoins du stade et la zone commerciale qui se trouve dans la partie haute du quartier. Les zones 30 ainsi que les pistes cyclables se trouvent surtout près du parc.

Déséquilibre de répartition des fonctions

Le quartier est assez dense en commerces et services à l'Est du quartier mais peu dense du côté ouest.

5.2.2 Besoins du quartier

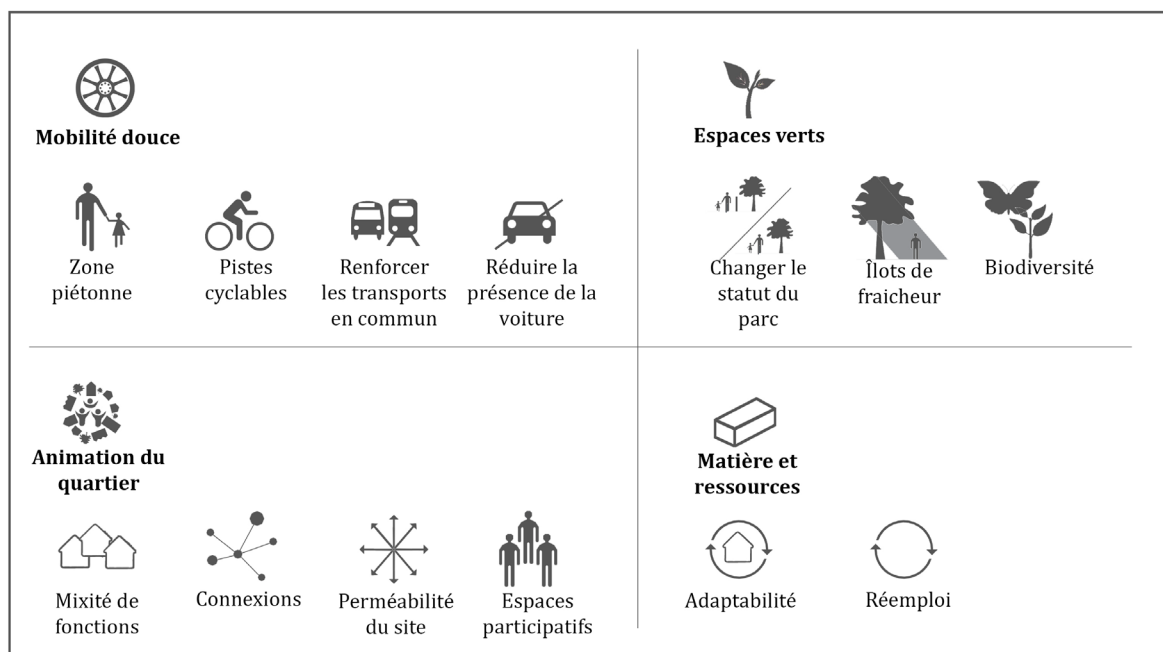
Pour compléter l'analyse précédente et déterminer les interventions nécessaires au développement du quartier, nous avons consulté la carte des appels à projet en cours. Ainsi, nous avons remarqué que la partie Nord et Est de la commune d'Anderlecht sont en plein développement en ce qui concerne la création d'espaces publics et de nouveaux projets. Il s'agit notamment de logements et d'autres infrastructures comme des crèches, des salles pour les équipements publics et des rénovations. Cependant, il n'y a pas encore de nouveaux aménagements prévus dans le quartier du Meir.



Fig. 56 : Contrats de quartier – Anderlecht
Source : <https://mybrugis.irinet.be/>

5.2.3 Propositions et objectifs pour le futur du quartier Meir

Suite aux analyses précédentes, nous remarquons que le site est bien desservi en transports en commun et qu'il est entouré d'espaces verts sous forme de trois parcs ainsi que de services qui se trouvent à l'est du quartier à une distance de 1km (10min à pied). Cependant, nous avons constaté un gros manque de continuité entre ces différents éléments. Ceci nous a mené à établir une série de critères pour le développement d'un quartier durable.



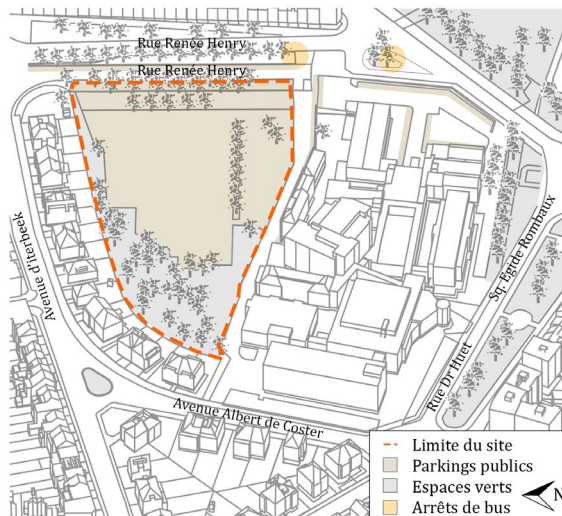
5.3 Présentation du projet

5.3.1 Développement du site

Le site choisi, en face de l'hôpital Josphe Bracops, et adjacent à la rue Renée Henry, se trouve particulièrement proche du parc Astrid. Ceci donne une opportunité de créer un lien et de connecter ces deux parcelles. La première chose à mettre en place est donc l'aménagement de la place en créant des îles vertes et une zone partagée. Vu la parcelle très spacieuse, ceci donne la possibilité de rappeler l'existence du parc en créant un deuxième à l'intérieur de l'ilot.

Pour garantir le développement du projet, son orientation, sa fonction ainsi que son aspect sont des facteurs déterminants. Ils doivent être choisis de manière judicieuse afin d'apporter le plus de vie et d'animation à son entourage pour ainsi créer un lieu attrayant.

Le site a été analysé par l'auteure pour déterminer les différents espaces et la volumétrie du projet.



La qualité du site

Analyse du site

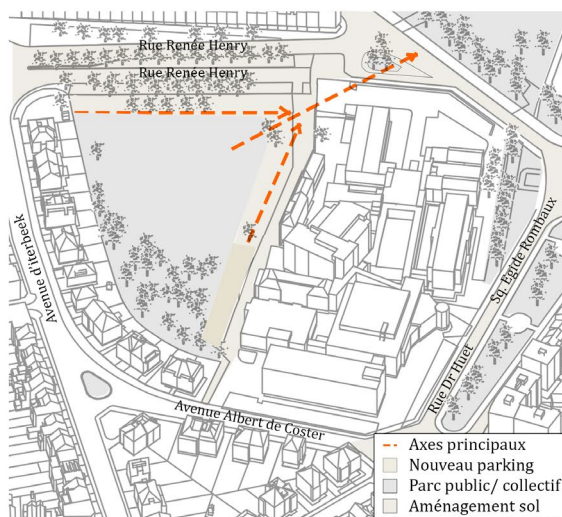
Implantation : en face de l'hôpital Joseph Bracops et près du parc Astrid

Mobilité : proche des arrêts de bus, parkings existants

Surface du site : 1,4 ha

Propriétaire : terrain appartenant à la commune

Utilisation : parking et espaces verts



Intentions

Directions du site : 3 axes principaux

- 1 // à la rue Renée Henry

- 1 longeant la ruelle traversant le site

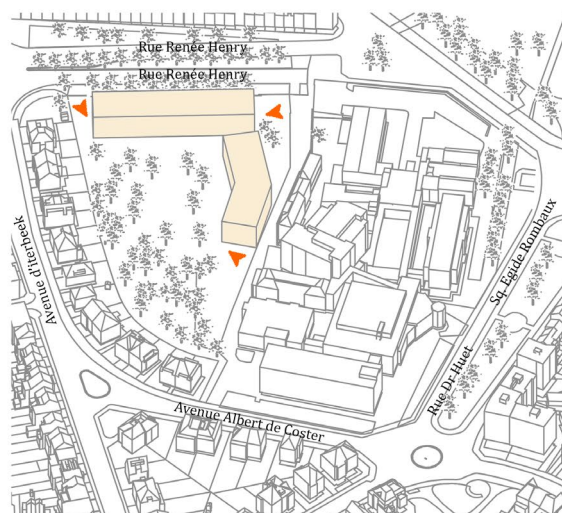
- 1 en diagonale connectant au parc Astrid

Espaces publics/privés :

Intérieur de l'îlot : création d'un parc public intégrant une plaine de jeux, des potagers collectifs, une fontaine et des bancs

Création d'un parking végétalisé en fond de parcelle

Abords : Création d'un 'shared space' pour favoriser la transition du parc vers l'intérieur de l'îlot



Projet

Volumétrie :

- 1 volume rectangulaire // à la rue Renée Henry

- 1 volume incliné et tourné vers la place pour éviter la vue peu agréable sur le mur de l'hôpital en face

Accès :

Par les 3 axes principaux

5.3.2 Projet

Les deux volumes créés présentent des niveaux qui varient de 4 à 5 étages pour s'inscrire dans le contexte, composé de maisons à deux étages et toitures en pente (12 m).



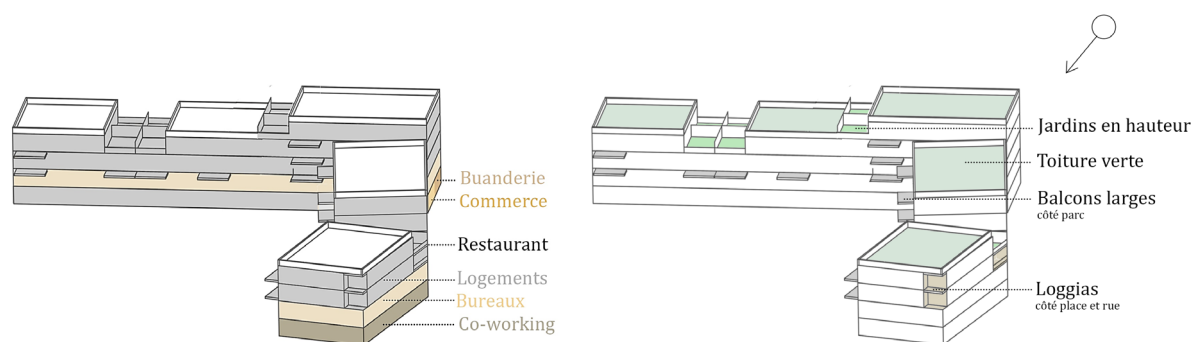
*Fig. 57 : Elévation Sud du bâtiment
Source : Document réalisé par l'auteure*

Le rez-de-chaussée du projet est un lieu actif dû à la présence du parc et de la place publique créé. Il serait donc logique d'y abriter des fonctions plus publiques au profit de l'ensemble du quartier, mais aussi des logements qui se trouveraient à proximité du parc et de ses potagers collectifs. Ces logements seraient particulièrement intéressants pour des familles, personnes âgées et personnes à mobilité réduite.

Les fonctions publiques seraient de l'ordre d'un espace de co-working pour le télétravail, un petit restaurant, une buanderie commune ainsi qu'un petit commerce.

Le premier étage accueillerait un espace de bureau pour répondre au manque de ce dernier dans le quartier.

Les autres étages accueilleraient des logements avec des balcons, loggias et terrasses en hauteur formant l'espace privé extérieur et permettant de se distancer du parc.



*Fig. 58 : Mixité de fonctions (à gauche)
Biodiversité et espaces privés extérieurs (à droite)
Source : Documents réalisés par l'auteure*



Fig. 59 : Axométrie du bâtiment
Source : Document réalisé par l'auteur

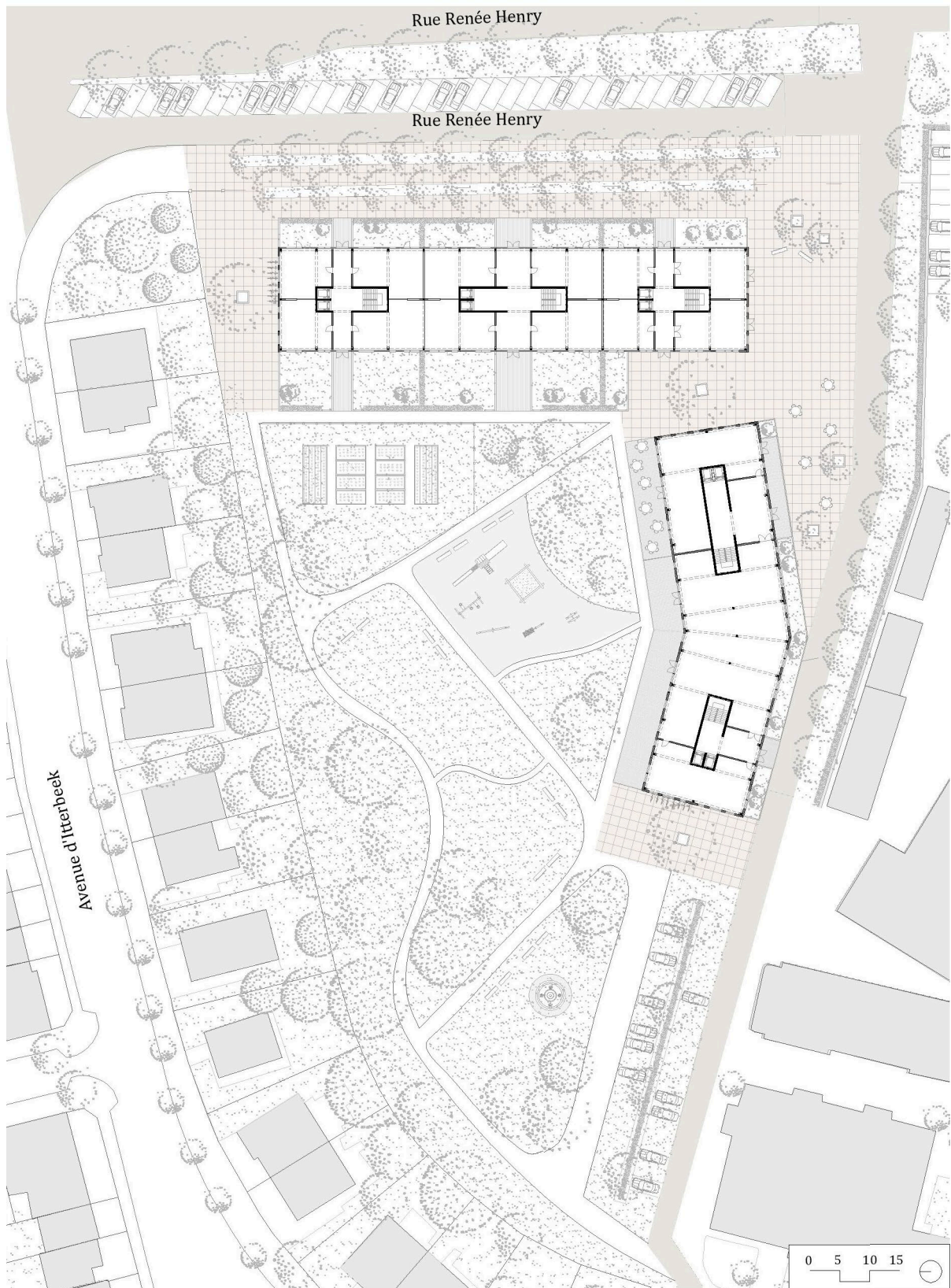
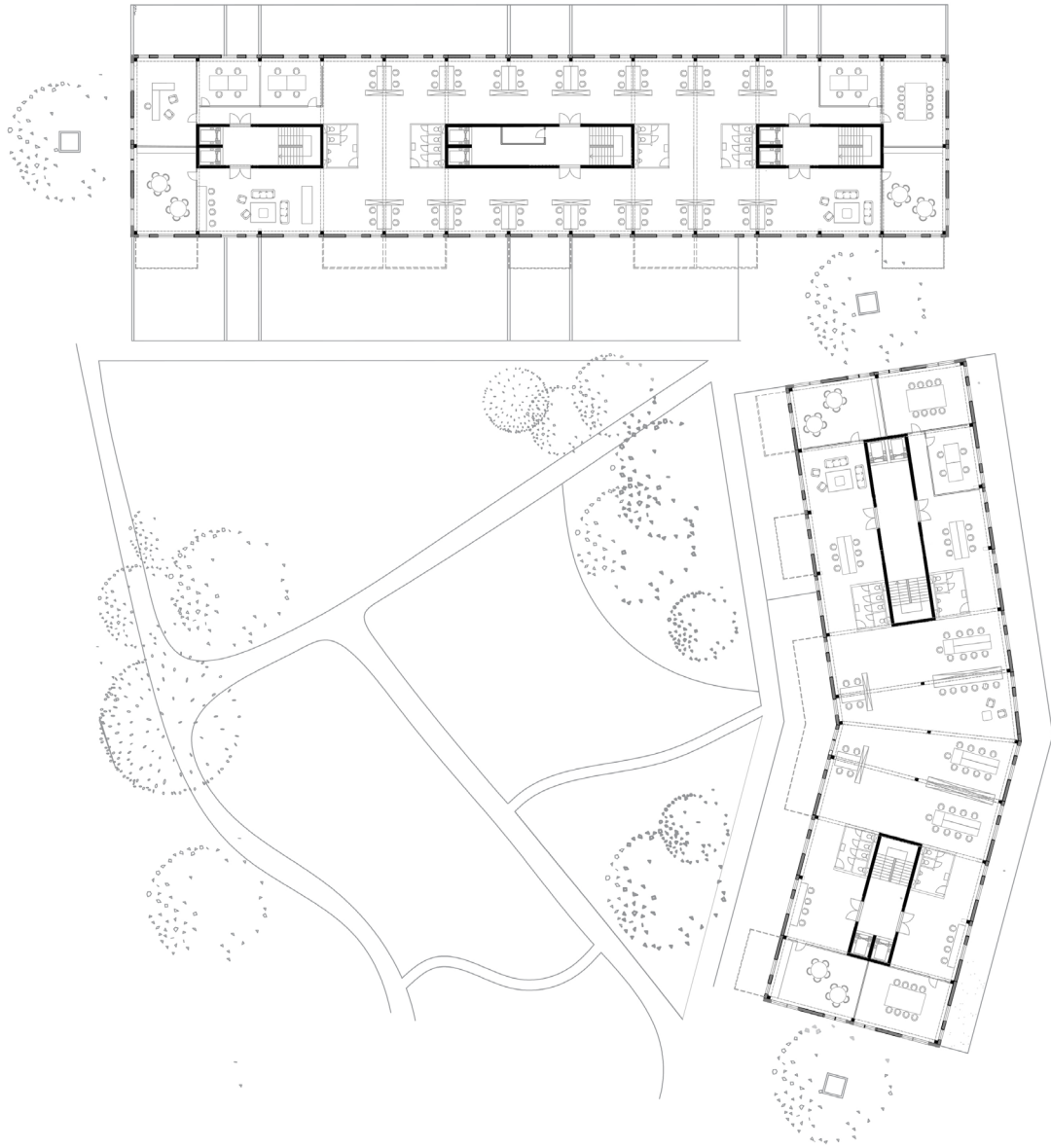


Fig. 60 : Plan d'implantation
Source : Document réalisé par l'auteure



Plan R+1

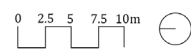
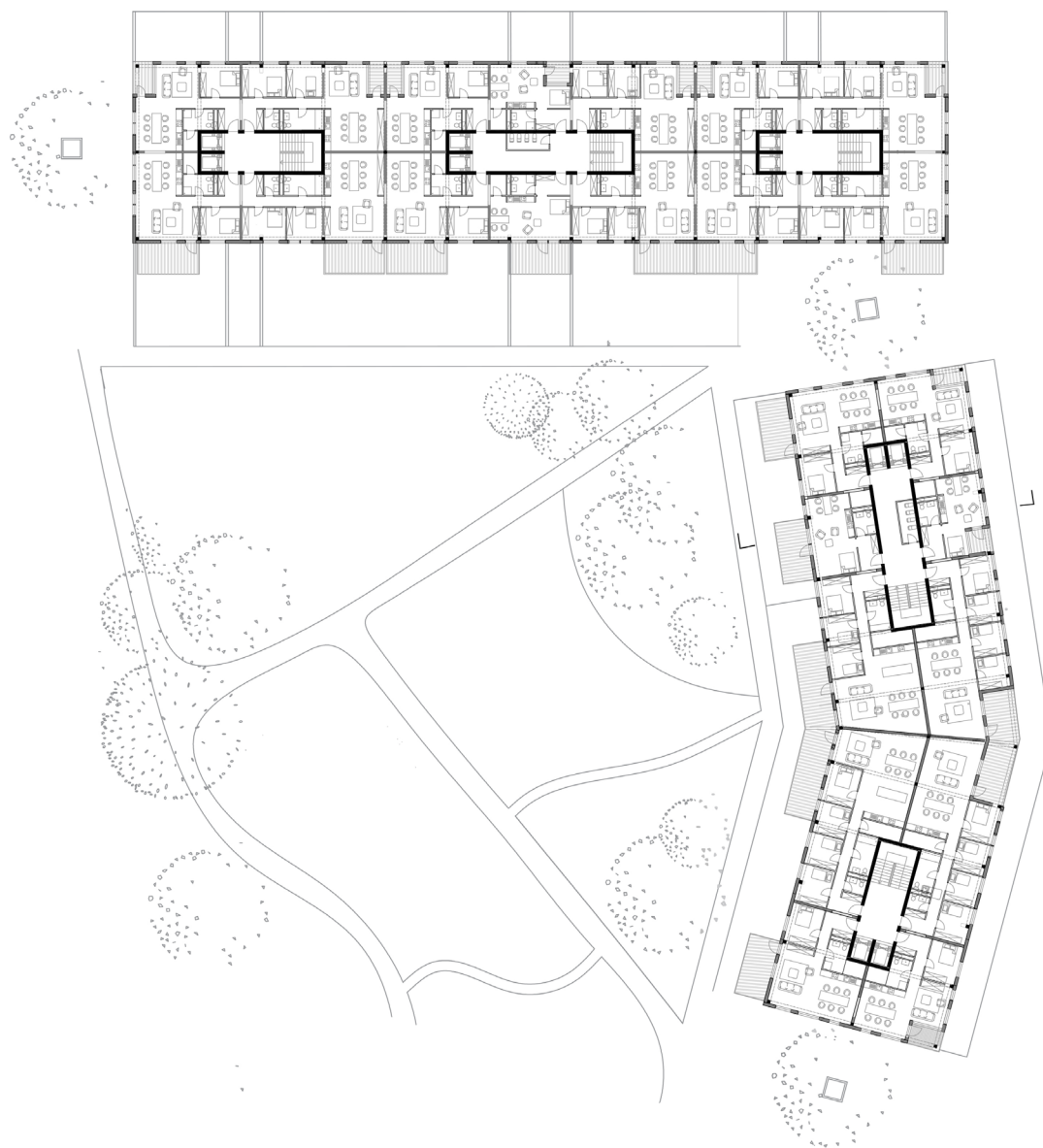


Fig. 61 : Plan des bureaux
Source : Document réalisé par l'auteur



Plan R+2



Fig. 62 : Plan des logements
Source : Document réalisé par l'auteure

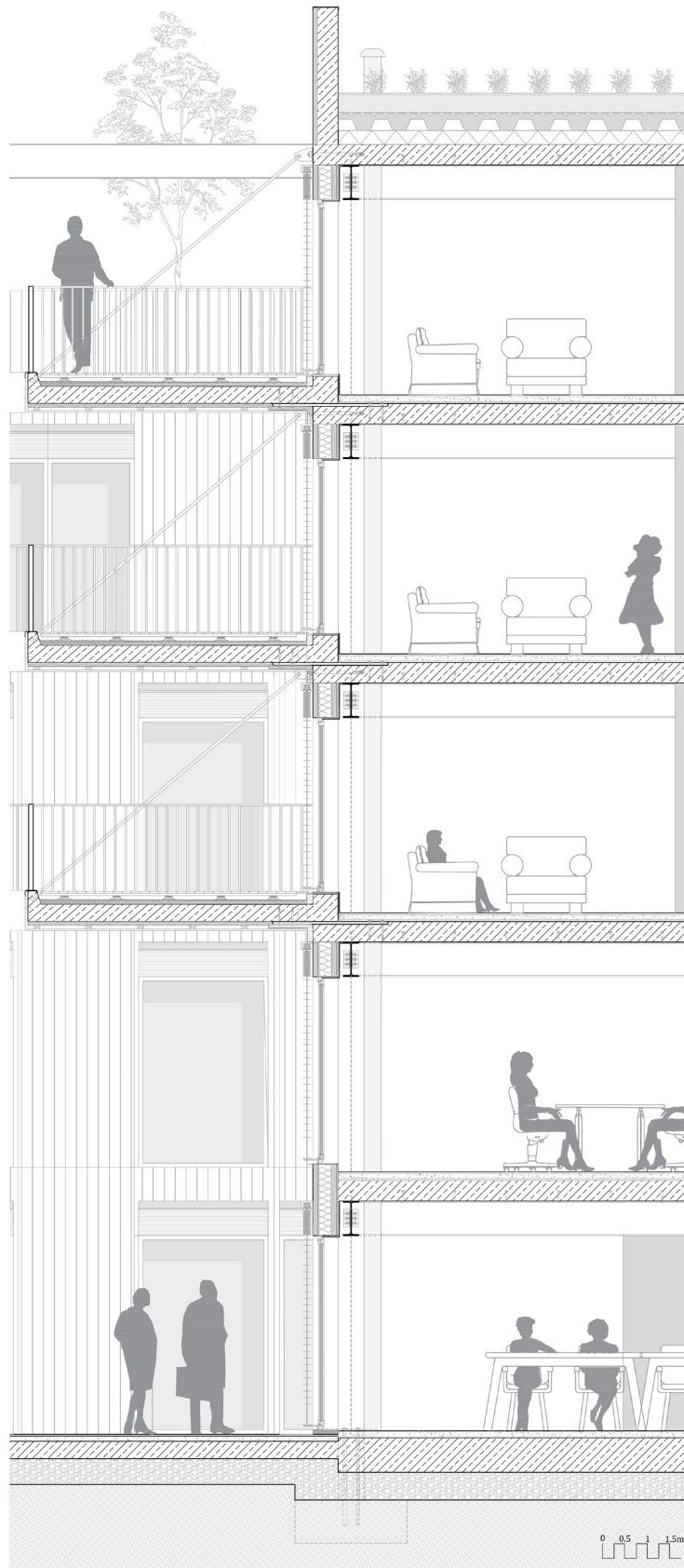


Fig. 63 : Coupe technique
Source : Document réalisé par l'auteure

La flexibilité spatiale et technique

Le bâtiment traite la flexibilité spatiale et technique. L'accent va être mis sur la flexibilité spatiale tout en entretenant un lien avec le technique. Ce lien va surtout se faire remarquer lors des reconfigurations des espaces en montrant quels critères permettent aux éléments variables de bouger.

5.3.3 Adaptabilité du bâtiment

Le bâtiment connaît deux types d'adaptabilité : l'adaptabilité à d'autres fonctions et l'adaptabilité au sein d'une même fonction. Cette dernière va être étudiée plus profondément, surtout dans le cas des logements, parce qu'elle est plus difficile à gérer.

Pour permettre l'adaptabilité du bâtiment, une hiérarchie du principe constructif doit être mise en place. Celui-ci se décline en trois étapes consécutives.

La première étape est la définition des éléments fixes qui conditionnent les éléments variables. Le bâtiment se base sur une structure en poteau-poutre-dalle avec un noyau central. Il s'agit d'un plancher collaborant avec goujons connecteurs où les poteaux et les poutres sont en acier et la dalle et le noyau en béton. Comme vu précédemment, ce choix permet une grande flexibilité interne et réunit les atouts des deux matériaux. Le système constructif se base sur des poutres IPE 400 en S355 et des colonnes HEB 300 en S355, disposées selon une trame de 6 sur 8,35 mètres (profondeur de plateau de 17 m). Cette trame a été déterminée en fonction du dimensionnement de chaque type d'appartement et pour garantir la ventilation dans chaque chambre.

La deuxième étape est la mise en place de l'enveloppe intégrant isolants, châssis, stores, parements, balcons et loggias, et la disposition des cloisons séparatives. L'enveloppe a été conçue avec des modules à base de bois afin de permettre la modification module par module lors d'un défaut ou d'un changement d'un composant. La façade n'est donc à priori pas conçue pour un changement esthétique, mais en vue des changements techniques et matériels dans le futur. Les modules se fixent à l'aide de pattes d'accroche à la dalle. Les fenêtres ont un haut pourcentage de vitrage avec un linteau de 70 cm et avec une allège minime pour bien éclairer les plateaux d'une profondeur assez importante (cas des espaces moins cloisonnés). Ce choix permet aussi au bâtiment de s'adapter à une multitude de fonctions de l'ordre public et privé.

Les cloisons séparatives (entre appartements/espaces différents) sont constituées d'une ossature en bois et intègrent une baie qui peut être démontée et remontée afin d'agrandir ou de réduire les espaces selon les besoins. Elles restent en place, avec uniquement la baie qui se démonte. Leur démontage complet entre seulement en vigueur quand il s'agit de les remplacer ou de les modifier (matériaux, isolation...).

La troisième étape comprend les cloisons distributives (au sein d'un même appartement), également constituées d'une ossature en bois. Elles peuvent être démontées et déplacées afin de suivre les changements déclenchés par l'étape 2 ou tout simplement selon les envies de réagencer l'espace (même fonction ou autre fonction).

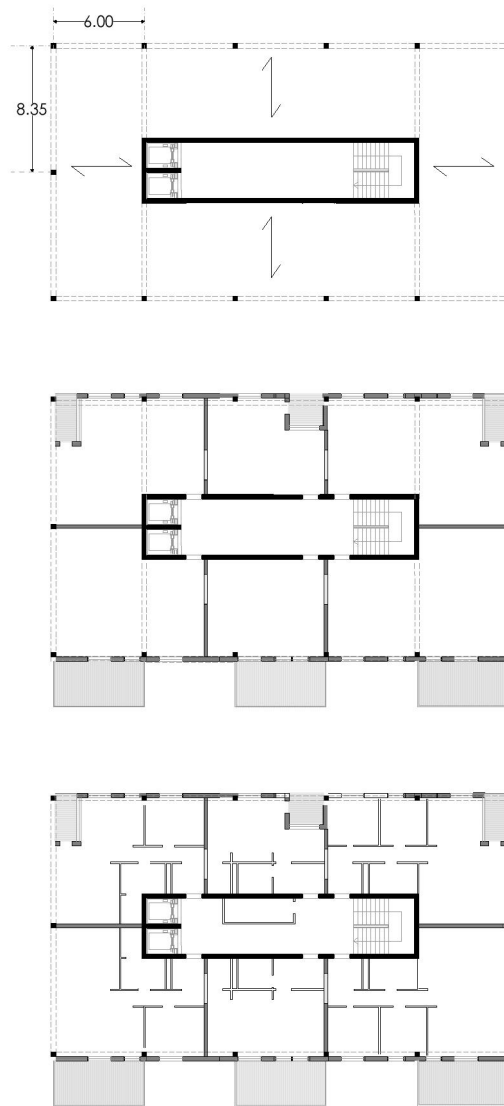


Fig. 64 : Hiérarchie du principe constructif

- 1. Structure portante fixe*
- 2. Enveloppe à couches indépendantes et cloisons séparatives modifiables (baies démontables)*
- 3. Cloisons distributives démontables*

Source : Documents réalisés par l'auteure

Détails techniques

Voici quelques détails techniques des cloisons et de la façade. Ils sont en complément de la coupe technique et montrent comment les différents éléments sont assemblés (assemblages secs) afin de rendre possible l'adaptabilité des espaces ainsi que le démontage de certains éléments en vue d'une modification des couches ou d'un réemploi dans le futur.

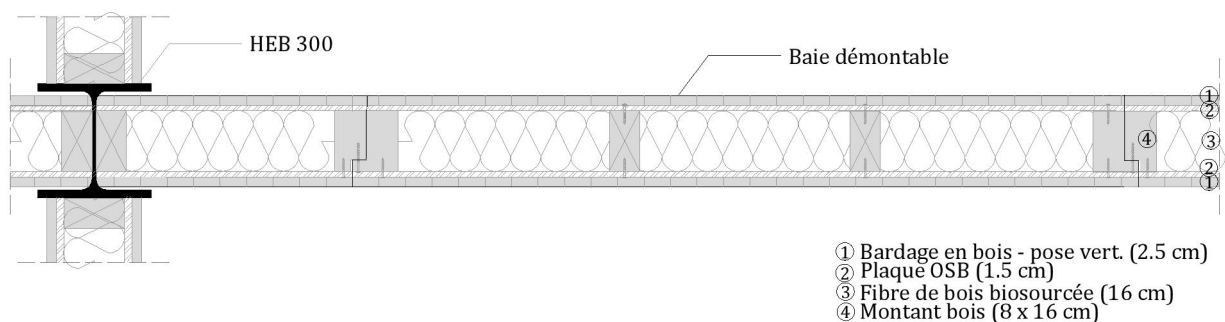


Fig. 65 : Détail cloison séparative modifiable - ossature bois
Source : Document réalisé par l'auteur

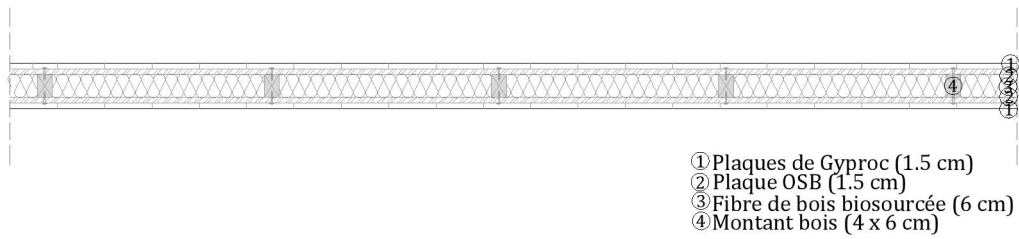


Fig. 66 : Détail cloison distributive démontable - ossature bois
Source : Document réalisé par l'auteure

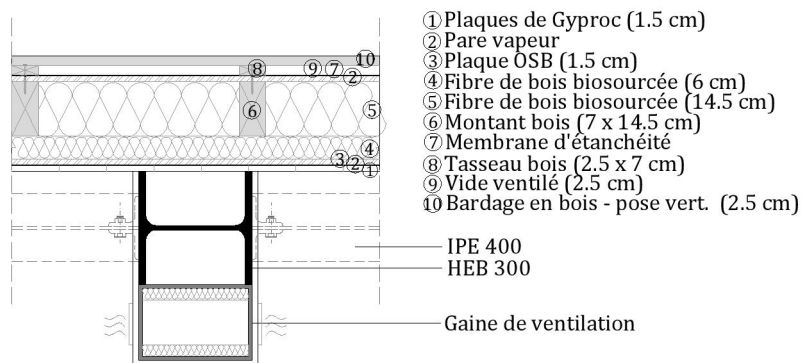
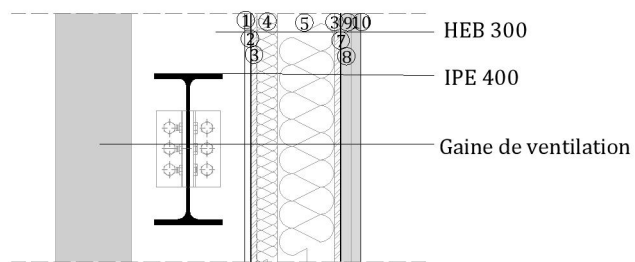


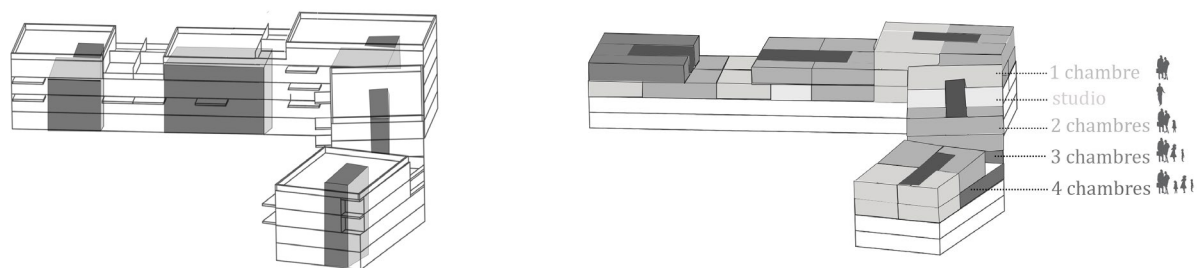
Fig. 67 : Détail de façade
 Source : Document réalisé par l'auteure

Adaptabilité à d'autres fonctions

Comme évoqué précédemment, le bâtiment accueille une multitude de fonctions. Cette adaptabilité est rendue possible par le choix d'une structure très flexible avec uniquement un noyau central qui divise l'espace. Le noyau intègre deux ascenseurs et un escalier. Il divise le plateau d'une largeur de 17 m en deux. Ceci a comme avantage d'agencer les espaces autour du noyau proche des façades et de garantir un éclairage suffisant des pièces.

Les noyaux varient en taille parce qu'ils sont dimensionnés selon les différents types d'appartements qui s'agencent autour de ceux-ci. Ainsi, le petit noyau peut rassembler 4 appartements et le plus grand noyau peut rassembler jusqu'à 6 appartements.

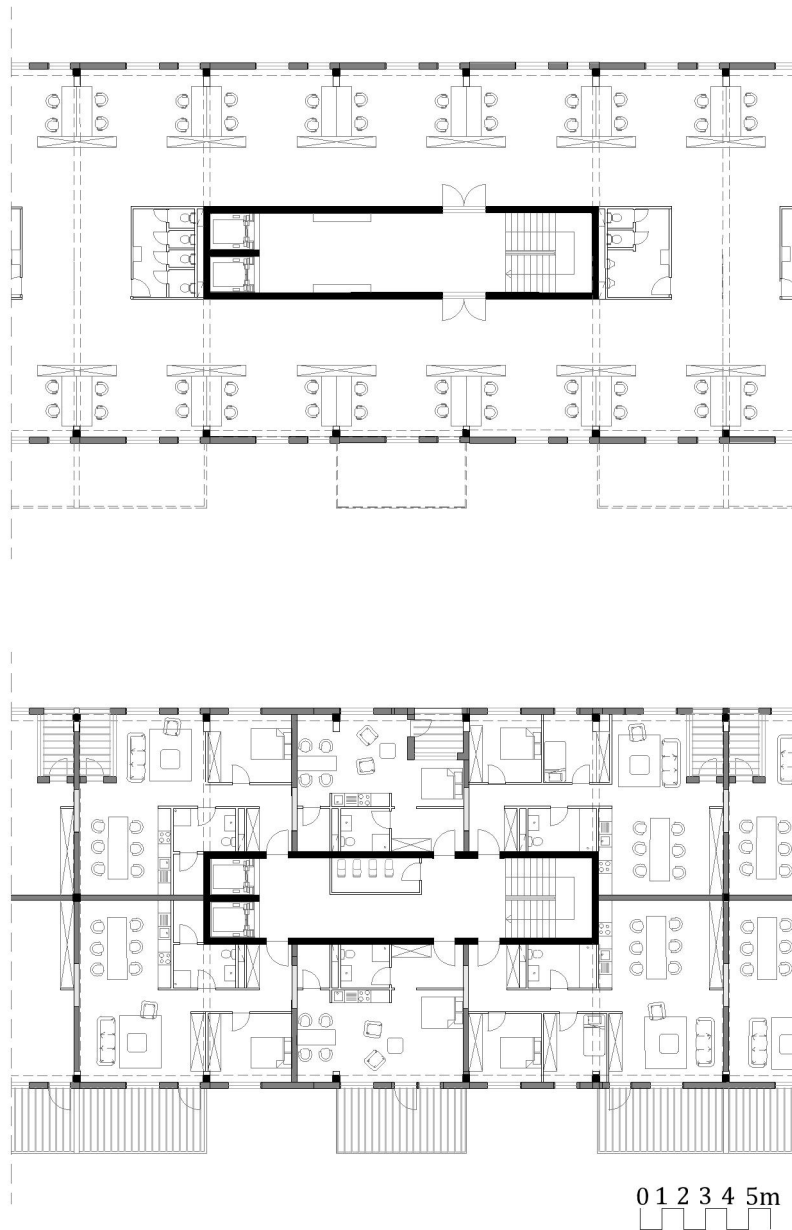
Les noyaux n'ont pas uniquement une fonction distributive mais également une fonction de services. En effet, les plus grands peuvent accueillir des services multiples comme un local poussette, stockage ou un local à réserve dépendant des fonctions de chaque étage.



*Fig. 68 : Noyau de circulation et de service (à gauche)
Mixité d'appartements (à droite)
Source : Documents réalisés par l'auteur*

Pour illustrer ce type d'adaptabilité, un exemple du premier et du deuxième étage se trouve ci-dessous. Il montre le plan des logements et des bureaux.

Dans les deux cas, les pièces d'eau se trouvent proches des noyaux. Dans le cas du bureau cet emplacement est courant mais, dans le cas des logements, les pièces d'eau se trouvent très souvent réparties sur l'ensemble de l'immeuble, dû aux différents agencements des pièces. Ici, le choix de les centraliser permet une arrivée et évacuation aisées et réduit les percements dans la dalle. Plus important encore, cette centralisation permet une grande flexibilité interne dans un même logement et la combinaison entre plusieurs appartements. Ce cas va être analysé par la suite.



*Fig. 69 : Adaptabilité bureaux/logements
Source : Documents réalisés par l'auteur*

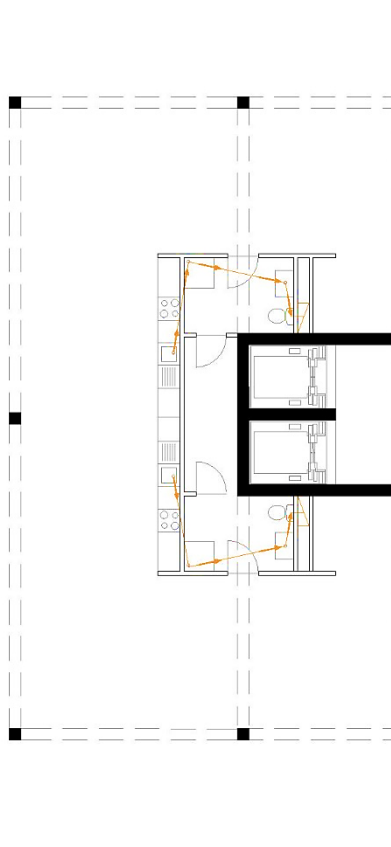


Fig. 70 : Evacuation d'eau logements
Source : Document réalisé par l'auteur

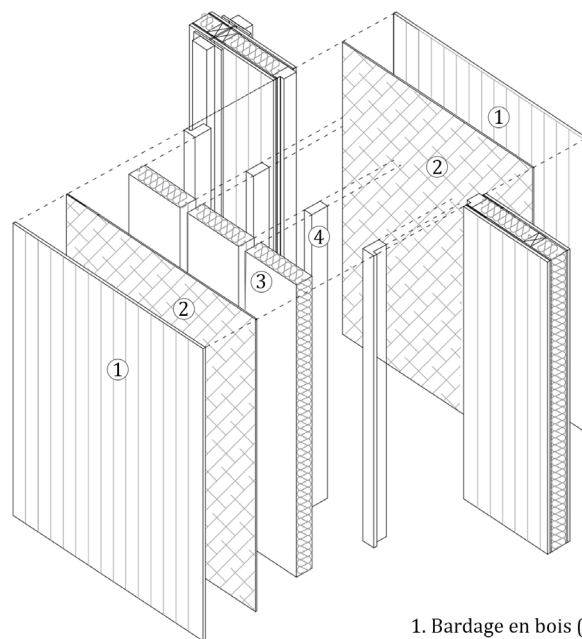
Adaptabilité au sein d'une même fonction - Scénarii d'évolution des logements

Le deuxième type d'adaptabilité concerne les reconfigurations à l'intérieur d'une même fonction. Pour illustrer ce cas, les logements ont été pris comme exemple. Cette adaptabilité se dirige vers un agrandissement ou un rétrécissement de ces derniers. En effet, il est facile de démonter et déplacer une simple cloison dans un même logement, mais cette transformation n'est pas suffisante pour suivre les évolutions constantes des modes familiaux.

Le logement doit donc pouvoir s'étendre et se rétrécir (aller - retour) pour répondre aux nouvelles façons de vivre. L'idée est que le bâtiment évolue avec les besoins des habitants pour qu'ils restent le plus longtemps possible dans l'immeuble. Il s'agit notamment de modes de vie comme le divorce, le mariage, l'agrandissement de la famille, les familles monoparentales ou recomposées, les retours des étudiants chez leurs parents, la collocation, le cohabitat... qui demandent la reconfiguration de l'espace.

À titre d'exemple, un scénario d'évolution des logements pour chacun des noyaux a été proposé par l'auteure. Pour montrer les configurations possibles, un schéma en haut de chaque scénario reprend les différentes combinaisons d'appartements en précisant toujours le nombre de chambres que celles-ci peuvent créer.

Ci-dessous suivent donc les deux scénarii d'évolution des logements ainsi qu'un détail de la cloison distributive qui montre comment la baie se démonte et remonte afin de permettre les reconfigurations spatiales.



1. Bardage en bois (pose vert.) (2.5 cm)
2. Plaque OSB (1.5 cm)
3. Fibre de bois bisourcée (16 cm)
4. Montant bois (8 x 16 cm)

*Fig. 71 : Cloison séparative modifiable
(baie démontable)
Source : Document réalisé par l'auteur*

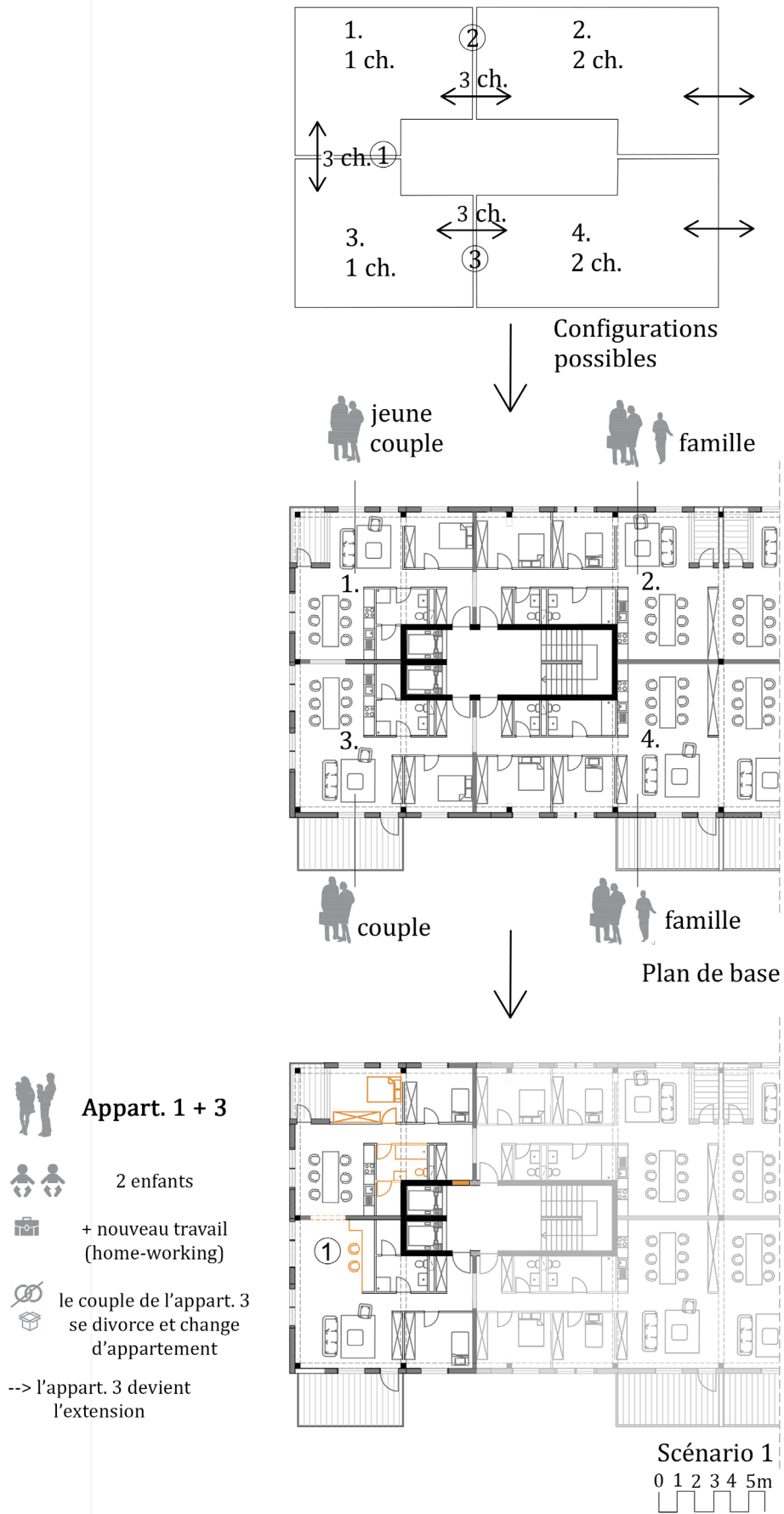


Fig. 72 : Plans d'adaptabilité logements – petit noyau
Source : Documents réalisés par l'auteure

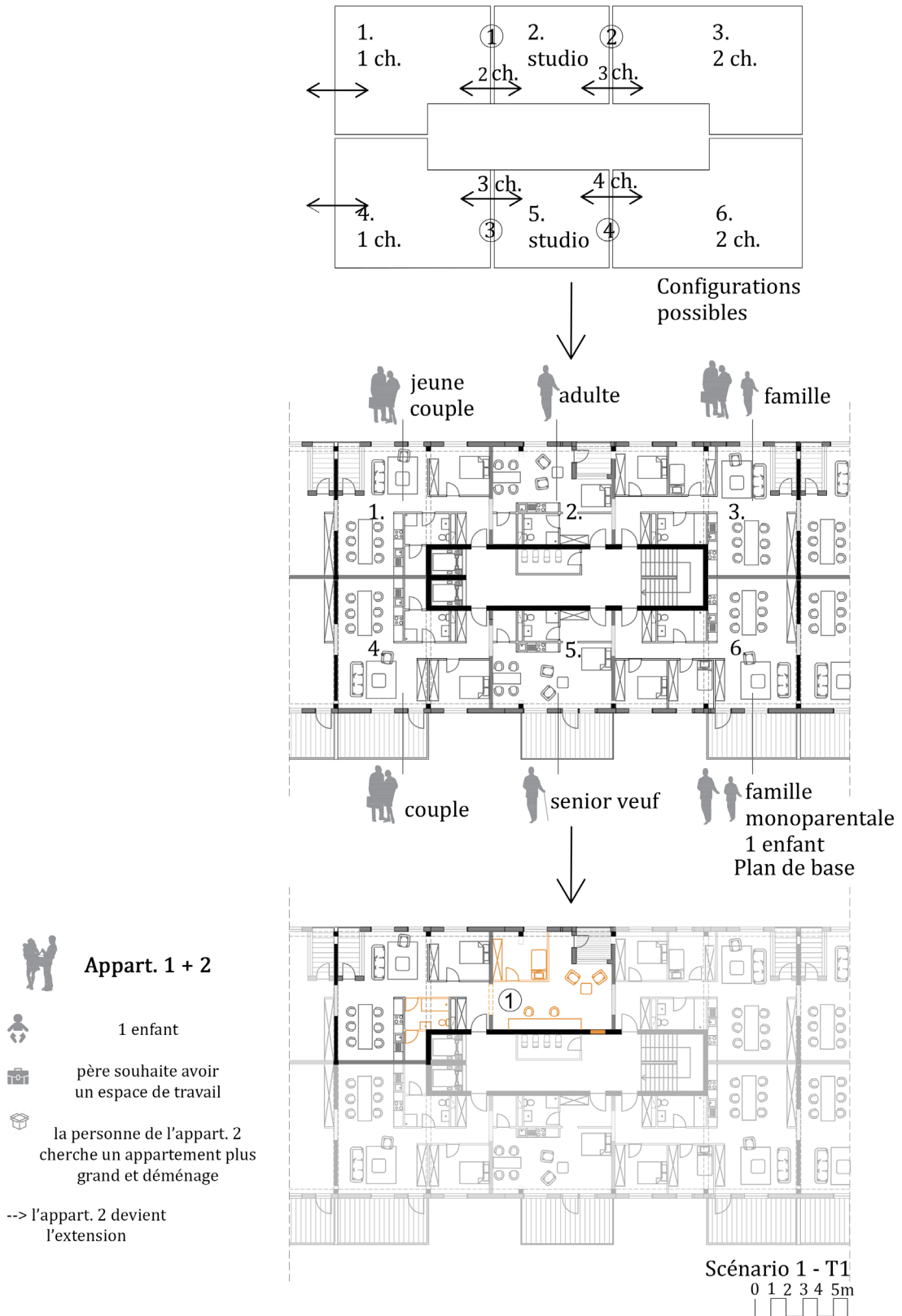


Fig. 73 : Plans d'adaptabilité logements – grand noyau
 Source : Documents réalisés par l'auteure

5.3.4 Ventilation du bâtiment

Les techniques doivent rester accessibles et indépendantes du reste des composants du bâtiment afin d'être aisément entretenues ou remplacées. Ceci est important dû aux différentes durées de vie de chacun des éléments. Elles ont été placées en façade devant les colonnes indépendamment de celle-ci.

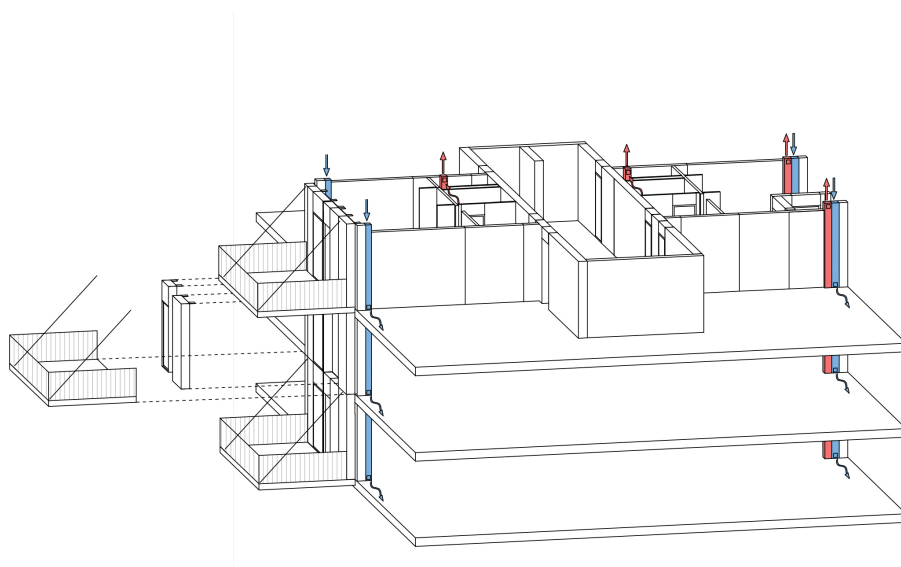
Le choix de les mettre en façade se justifie par une volonté de garder les poutres apparentes et d'ainsi éviter de les recouvrir par un faux-plafond qui réduirait en plus la hauteur libre des espaces. En effet, ce choix permet de disposer d'une hauteur de 2,7 m sous dalle et d'une hauteur libre de 2,3 m au droit des poutres.

Le bâtiment connaît deux systèmes de ventilation différents selon le type d'affectation. Le premier type s'applique aux espaces plus cloisonnés tels que les logements. Le deuxième type s'applique aux fonctions plus ouvertes telles que les restaurants, les bureaux et les commerces.

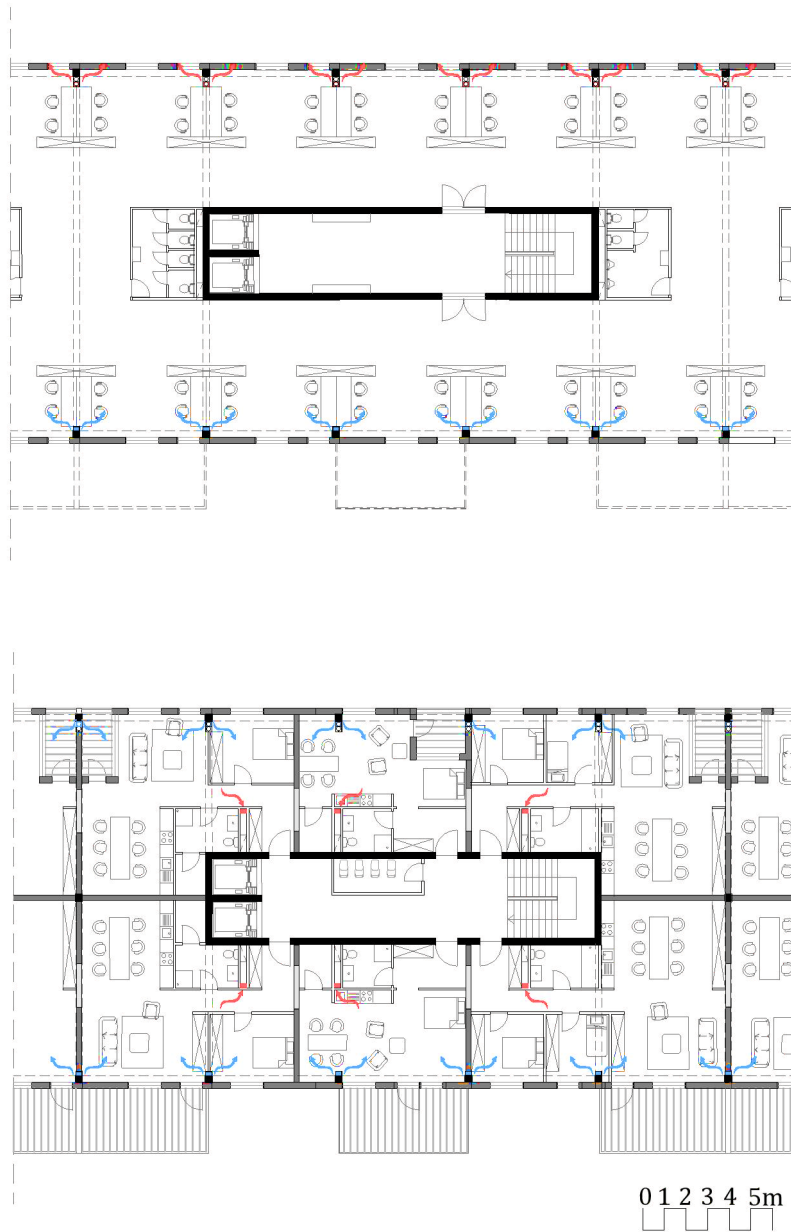
Dans le premier cas, l'arrivée d'air se fait sur toutes les façades et l'extraction se fait par des trémies dans les salles de bain.

Dans le deuxième cas, l'arrivée d'air se fait sur les façades Nord et Ouest et l'extraction en façades opposées.

Les façades Nord et Ouest sont travaillées avec une ventilation à simple flux (seulement alimentation) tandis que les façades Sud et Est disposent d'une ventilation à double flux (alimentation et extraction).



*Fig. 74 : Ventilation et détail de façade
Source : Document réalisé par l'auteure*



*Fig. 75 : Plan de ventilation logement/bureau
 Bureau : Alimentation en façade, extraction
 en façade opposée
 Logement : Alimentation en façades,
 extraction en sanitaires
 Source : Documents réalisés par l'auteure*

6. Retour critique

6.1 Freins et Limites

Le *Design for Change* est une démarche qui est très actuelle mais qui fait encore face à une multitude de problèmes non résolus. En effet, il existe de nombreux concepts théoriques qui ont émergé ces dernières années, qui ne donnent cependant pas toujours les meilleures solutions dans la pratique. Le concept du bâtiment qui doit répondre à un nombre de critères écoresponsables se trouve toujours en pleine réflexion. Ainsi, le choix des meilleurs matériaux et assemblages est encore fortement discuté. En outre, le plus grand enjeu est le manque de connaissances des évolutions de la société et de ses besoins. Certains mouvements futurs peuvent être anticipés dus à notre expérience, mais il est difficile de prédire tous les changements de modes de vie qui vont se faire d'ici 20 ou 50 ans. Le plus grand défi est de faire des choix dans le présent. Ces choix doivent être bien réfléchis dès la conception, sachant qu'ils ne seront peut-être pas les meilleurs à la fin. Cependant, à travers la théorie et des œuvres architecturales réalisées, les connaissances se multiplient et deviennent de plus en plus enrichissantes pour une meilleure application dans le futur.

Lors de tout ce processus, je me suis moi-même « heurtée » aux différentes questions que l'on se pose lorsqu'on veut construire durable. Ainsi, j'ai souvent remis en question mes propres choix et j'ai comparé plusieurs concepts qui m'ont permis de dégager un certain nombre de pistes d'action que j'ai pu appliquer à mon projet.

À ce stade, il s'impose de parler de mes propres limites rencontrées.

Le système constructif mis en place permet une combinaison aisée entre appartements avec une multitude de configurations possibles s'adaptant à la grande variété de demande actuelle. Cependant, ce système connaît encore quelques contraintes d'utilisation qu'il s'agit de creuser davantage. En effet, les appartements situés dans la partie centrale du bâtiment longent un mur aveugle et ne permettent pas une combinaison transversale judicieuse. La profondeur des plateaux est trop importante pour assurer un apport de lumière suffisant dans les nouvelles pièces de vie créées.

En outre, les scénarii établis sont partiellement théoriques, car on est incertain de comment ces logements vont évoluer, suivant quels modes de vie et à quelle vitesse. Ce ne sont que des hypothèses, et si un appartement ne suit pas le mouvement des autres, autrement dit si la disponibilité de deux appartements n'est pas synchronisée, l'adaptabilité envisagée s'avère plus difficile. Néanmoins, il faut noter que les occupants de l'immeuble sont de toutes les classes d'âge où les mouvements sociaux sont assez fréquents et donc à considérer.

La façade a été conçue en vue d'une future modification et d'un remplacement de ses composants et non pas d'une transformation du gabarit des modules. Ce choix a été fait pour garder un rythme harmonieux de la façade qui aurait été perturbé par la transformation de certains modules de façade d'un étage selon le changement des affectations. Cependant, celle-ci peut être entièrement démontée et échangée à une époque où elle serait démodée.

Les matériaux employés s'inscrivent en grande majorité dans une logique de développement durable. Cependant, des exceptions existent comme l'emploi partiel du béton (noyaux et dalles) afin de garantir une meilleure résistance et acoustique de

l'immeuble. S'agissant d'un élément de la structure dédié à la pérennité, le choix du béton par endroit s'avère donc judicieux.

Le parement intérieur a été choisi selon la position des pièces dans le bâtiment et en tenant compte de la fonctionnalité et l'esthétique. C'est ainsi que le choix varie entre le bois et le Gyproc pour des raisons de démontabilité, d'humidité et d'esthétique.

Durant tout le processus, l'équilibre entre les trois critères de Vitruve (solidité, utilité, beauté) pour la bonne conception architecturale, était le plus grand défi à prendre. En effet, un élément répond souvent uniquement à un seul de ces critères. Il est donc important de déterminer lequel offre le plus de qualité à l'espace tout en donnant des réponses satisfaisantes aux attentes des habitants.

6.2 Pistes d'action à creuser

Comment le quartier va-t-il évoluer ? Quelles fonctions vont rester ou s'installer dans les années à venir ? Comment les personnes vont-elles s'approprier les espaces et habiter les lieux ? Le système constructif mis en place permet-il de répondre de manière efficace aux besoins des habitants ? Les matériaux choisis sont-ils les plus adéquats ? ...

Ces sont des questions parmi d'autres que l'on se pose lors de la conception d'un bâtiment durable. À ce stade-ci, beaucoup d'éléments ont été traités dans le projet mais il s'agit d'une proposition unique alors qu'il en existe une multitude.

En effet, le plus gros travail concerne le choix de la structure du bâtiment. C'est elle qui constitue l'élément le moins réversible et qui est déterminant pour le développement des autres composants du bâtiment. La structure et le positionnement de la circulation conditionnent les éléments variables et donc les changements qui peuvent se faire sur un plan interne et externe. Ainsi, la mise en place d'un autre système constructif donnerait lieu à des reconfigurations différentes et à d'autres interprétations de l'espace.

Une autre piste à creuser est le choix des différents matériaux et assemblages. De nouveau, il existe une multitude de possibilités et de systèmes en ce qui concerne leur mise en œuvre, tout en respectant une démarche écoresponsable.

Pour les années à venir, il s'agit donc de continuer à faire des recherches, d'imaginer d'autres possibilités, et de les tester en pratique pour répondre au mieux aux changements perpétuels des besoins.

6.3 Réflexions

La théorie est très riche en propositions pratiques, mais il n'est souvent pas évident de choisir ou de même définir la meilleure manière de faire. En effet, aujourd'hui on pense souvent de façon fonctionnaliste reflétant une rationalité du moment plutôt que de considérer les développements futurs. On est habitué de se baser sur un énoncé qui est clairement défini. Cependant, si on veut concevoir adaptable, le programme ainsi que les usages futurs sont inconnus. C'est pour cela que les compétences, méthodes et outils actuels doivent dépasser la seule articulation entre fonction et espace. Ces compétences contiennent la capacité de planifier en absence d'un programme prédéfini et à entreprendre des recherches. Elles représentent souvent des opportunités pour les architectes, en particulier pour comprendre la complexité de la société et à imaginer des besoins et solutions aussi bien pour le présent que pour le futur. Concevoir pour le changement demande aux concepteurs de penser en termes de systèmes et de composants de construction. La conception se dirige de plus en plus vers une économie circulaire et ne se base moins sur des matières premières mais sur des produits et éléments qui se trouvent déjà intégrés dans le système avec un potentiel de réutilisation ultérieure. Ce système confronte les architectes aux différentes possibilités du réemploi et les pousse à en faire un usage créatif. Pour générer de la valeur dans un bâtiment et ceci à long terme, il est souhaitable de penser en termes de cycle de vie et de promouvoir la circularité et ainsi d'assurer une gestion responsable du bâtiment.

7. Conclusion

Compte tenu de tous les enjeux actuels, concernant les limites des ressources premières, du gaspillage de matières et d'énergie dans la construction, l'architecture évolutive est l'une des pistes pour se diriger vers une consommation de ressources primaires plus responsable. Son exercice demande beaucoup de rigueur, de recherche et surtout de temps. Les contraintes sont nombreuses mais la pratique du *Design for Change* est une source de solutions pour changer notre future manière de construire. Il est vrai qu'on ne sait pas tout prédire à l'avance, mais on sait néanmoins anticiper certains mouvements futurs en se basant sur nos expériences. En effet, cette anticipation permet une préservation de certains éléments et l'utilisation dynamique du bâtiment et un flux de matières en considérant le bâtiment comme ressource de matières et d'usages tout au long de son cycle de vie.

Au regard d'une continuité de ce TFÉ, il est nécessaire de multiplier les études de cas pour nourrir les connaissances dans le domaine. Le concept donne lieu à plusieurs réponses qui sont liées à des critères multiples comme la structure et le contexte du bâtiment. L'architecture évolutive ne doit donc pas fournir des solutions génériques indifférentes à son entourage. Elle doit donner l'opportunité de créer des lieux dynamiques et de solliciter les rapports sociaux.

Pour conclure, même si certains freins peuvent bloquer le développement de cette bonne pratique, j'ai l'espoir que l'architecture évolutive va continuer à se développer pour devenir une pratique architecturale plus répandue dans les années à venir. De nombreuses recherches et analyses ainsi qu'encouragements auprès des architectes et de la société doivent encore être menés pour que cette pratique devienne une vraie utopie réalisable et réalisée.

8. Bibliographie

Livres

Bohlke, A., Dooreman, B., Lasserre, C., Laconte, P., (2013) Bureaux du passé, habitants du présent- Région de Bruxelles-capitale, p 2.

Brand, S., (1994). « How Buildings Learn: What happens after they're built ». New York : Penguin Publishing Group. 243 p.

Brundtland, G.H., (1987) « Notre avenir à tous (*Our Common Future*) », Commission mondiale sur l'environnement et le développement de l'Organisation des Nations unies. Presses universitaires Oxford. 383 p.

Choppin, J., Delon, N., (2014). « Matière grise : Matériaux/Réemploi/Architecture ». Paris: Pavillon de l'Arsenal. 365 p.

Habraken, N.J., *Supports: An Alternative to Mass Housing* (1972), London

Huygen, J-M., Bouchain, P. (2008). « La poubelle et l'architecte : vers le réemploi des matériaux ». Arles : Actes Sud. 183 p.

Ledent, G., Salembier, C., Vanneste, D., (2019). « Sustainable dwelling: Between Spatial Polyvalence and Residents' Empowerment ». Louvain: Presses universitaires de Louvain (PUL). 205 p.

Leupen, B., (2006). « Frame and Generic Space: A study into the changeable dwelling proceeding from the permanent ». Rotterdam: 010 Publishers. 254 p.

Pelegrin-genel, E., Le logement industrialisé vu par l'architecte Patrick Rubin- en ligne (21.06.2013) : <<https://www.lemoniteur.fr/article/le-logement-industrialisevu-par-l-architecte-patrick-rubin.826769>> [26.05.2020].

Rotor, Ghyoot, M., Devlieger, L., Billiet, L., Warnier, A., (2015). « Déconstruction et Réemploi : Comment faire circuler les éléments de construction ». Lausanne : Presses polytechniques et universitaires romandes. 232 p.

Brochures/Présentations

Billiet L., Rotor. Formation Bâtiment Durable : Matériaux durables : comment choisir ? Mettre en œuvre des matériaux de réemploi. [en ligne]. (page consultée le 8/12/2019) <https://environnement.brussels/sites/default/files/user_files/pres_20150402_mat_2_2recycl_fr.pdf?fbclid=IwAR0PCqMrYIMAesR8srlyFtCQFXT_x5qh7nFHFPEk6cPaDC3IF520d8jxHc>

Ghyoot, M., (2017) « Objectif réemploi : Pistes d'action pour développer le secteur du réemploi des éléments de construction en Région de Bruxelles – Capitale »

VUB, Cambier, C., Elsen, S., Galle, W., et al. (2019) « Concevoir la transition vers l'économie circulaire : Des critères de conception pour guider et inspirer tous les acteurs de la construction ». VUB, Architectural Engineering.

VUB, Cambier, C., Elsen, S., Galle, W., et al. (2019) « Concevoir la transition vers l'économie circulaire : Le bâti, un environnement dynamique ». VUB, Architectural Engineering.

Le secteur de la construction à Bruxelles : Constat et Perspectives : Vers une économie circulaire. be.circular. be brussels. [en ligne], (page consultée le 21/03/2020)
<https://www.circulareconomy.brussels/wp-content/uploads/2018/02/be_prec_fr.pdf>

Willem, P., (2017) Formation bâtiment durable, Chantier en économie circulaire : Modularité et flexibilité du bâtiment, Quand et comment les intégrer dans le bâtiment ? [en ligne], (page consultée le 21/03/2020)
<<https://environnement.brussels/sites/default/files/pres-171128-circ-2-2-modul-fr.pdf>>

Mémoires

Bertin, I., (2016). En quoi la préfabrication engendre-t-elle un potentiel et une source de réemploi en architecture ? Mémoire Master : Réemploi et Préfabrication. 148 p.

Chaynes, M., (2018). Rêver(cités) Concevoir le changement : 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 ? Le cas de la caserne d'Ixelles. Mémoire Master : Déchets, Reconversion, Flexibilité interne. Louvain-la-Neuve : Université catholique de Louvain - Faculté d'architecture, d'ingénierie et d'urbanisme. 103 p.

Chiron, F., (2017). Le réemploi dans la construction : Une perspective pour une architecture soucieuse des enjeux environnementaux. Mémoire Master. 94 p.

Delfosse, J., (2019) Les façades démontable zéro déchet : agir pour demain. Retour critique. Mémoire Master : Façade, Préfabrication, Réemploi des matériaux, Bureau, Architecture évolutive, Panneau préfabriqué, Reconversion de bâtiment. Université catholique de Louvain - Faculté d'architecture, d'ingénierie et d'urbanisme. 146 p.

Delmée, H., (2017). Un vade-mecum pour la conception à partir de matériaux de réemploi. Mémoire Master : Matériaux & Déchets, Architecture, Construction & Aménagement du Territoire. Louvain-la-Neuve : Université catholique de Louvain - Faculté d'architecture, d'ingénierie et d'urbanisme. 110 p.

Drapeau L., (2017). Réemploi : comment le réemploi se développe-t-il au-delà des architectures manifestes ? Mémoire Master : Architecture, aménagement de l'espace. 55 p.

Drion du Chapois, C. (2019) Rénover zéro déchet : lorsque le déchet devient ressource. Mémoire Master : Economie circulaire, Matériau de récupération, Reconversion de bâtiment, Transition écologique. Université catholique de Louvain - Faculté d'architecture, d'ingénierie et d'urbanisme. 112 p.

Merschaert, J., (2017) La conversion des immeubles de bureaux en logements au sein de la région bruxelloise, Mémoire Master : Université catholique de Louvain - Faculté d'architecture, d'ingénierie et d'urbanisme.

Ragot, A., (2018). Le réemploi de matériaux de construction. Mémoire Master : Repenser le métropolisation. Bordeaux. 82 p.

Articles en ligne

Herzberger, H., (2014). Polyvalence: The Competence of Form and Space with Regard to Different Interpretations. Architectural Design. [en ligne], 84 (5) (page consultée le 21/03/2020) <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ad.1816>>

Ledent, G., (2015). Beyond contingency: Sustainable design versus obsolescence Communication à un colloque (Conference paper). [en ligne], Conférence (page consultée le 21/03/2020) <<http://hdl.handle.net/2078.1/189387>>

Sites internet

<https://bauforumstahl.de/>

<https://besustainable.brussels/demarche/>

<https://www.construiracier.fr/choisir-lacier/>

<https://constructionmetal.groupebriand.fr/type-ouvrage/construction-de-logements-collectifs-en-structure-metallique>

https://chroniques-architecture.com/reversibilite-de-la-theorie-a-la-pratique/?fbclid=IwAR2V7vCTRNB9haZRe2ZH4BbNeikGxYnOLC_Na07obnIVOAS04enZuTY0ys

<http://www.guidebeton.com/qualite-beton>

<https://www.guidebatimentdurable.brussels/fr/accueil.html?IDC=1506>

<https://www.materiaux-naturels.fr/dossier/50-pose-laine-fibre-de-bois>

<https://monitoringdesquartiers.brussels/>

<https://mybrugis.irisnet.be/brugis/#/>

<https://www.plakagroup.com/fr-FR/PLAKA-France/Nos-Produits/Batiment/Liaisons-de-structures-beton/Armatures-anti-poinçonnement/Armatec/Planchers-dalles/>

<http://www.scieriesillat.com/webtheque/fichier/16-notice-mur-ossature-bois.pdf>

<https://www.swisslife.com/fr/home/hub/combien-de-temps-peut-vivre-un-batiment.html>
<https://visit.brussels/fr/place/Parc-Astrid>

Autres

Directive 2008/98/CE (2008) du parlement européen et du conseil du 19 novembre 2008 relative aux déchets et abrogeant certaines directives (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE) (JO L 312 du 22.11.2008, p. 3) [en ligne] (page consultée le 21/03/2020) <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:02008L0098-20150731&from=FR>>

EN ISO 14040 (2006) Management environnemental – Analyse de cycle de vie – Principes et cadres

Paduart A. (2012) Re-design for change, thèse sous la supervision de Hugo Sol et de Willy De Wilde, Bruxelles : VUB

Trachte, S., (2019). Cours d'écoconception

Liste et sources des illustrations

Fig. 1 : Épuisement de ressources et production de déchets

Choppin J., Delon N., (2014). Matière grise : Matériaux/Réemploi/Architecture. Pavillon de l'Arsenal

Fig. 2 : Système économique linéaire

<<https://www.selecteo.fr/le-blog/39-l-economie-circulaire-produire-autrement-et-penser-reemploi>>

Fig. 3 : Constat

Schéma réalisé par l'auteure

Fig. 4 : Système économique circulaire

<<https://www.selecteo.fr/le-blog/39-l-economie-circulaire-produire-autrement-et-penser-reemploi>>

Fig. 5 : Dimension spatiale de la durabilité

Ledent, G., Salembier, C., Vanneste, D. (2019). « Sustainable dwelling: Between Spatial Polyvalence and Residents' Empowerment ». Louvain : Presses universitaires de Louvain (PUL). 205 p.

Fig. 6 : Dimension sociale de la durabilité

Ledent, G., Salembier, C., Vanneste, D. (2019). « Sustainable dwelling: Between Spatial Polyvalence and Residents' Empowerment ». Louvain : Presses universitaires de Louvain (PUL). 205 p.

Fig. 7 : Articulation entre dimension sociale et spatiale de la durabilité

Ledent, G., Salembier, C., Vanneste, D. (2019). « Sustainable dwelling: Between Spatial Polyvalence and Residents' Empowerment ». Louvain : Presses universitaires de Louvain (PUL). 205 p.

Fig. 8 : La colline de la valeur dans la construction circulaire

VUB, Cambier, C., Elsen, S., Galle, W., et al. (2019) « Concevoir la transition vers l'économie circulaire : Le bâti, un environnement dynamique ». VUB, Architectural Engineering. D'après Achterberg E., Hinfelaar J., Bocken N.

Fig. 9 : Le principe du pace layering de Brand

Brand, S. (1994). « How Buildings Learn: What happens after they're built ». New York: Penguin Publishing Group. 243 p.

Fig. 10 : Le principe des couches de Leupen

Leupen, B. (2006). « Frame and Generic Space: A study into the changeable dwelling proceeding from the permanent ». Rotterdam : 010 Publishers. 254 p.

Fig 11. : Hiérarchie des modes de traitement des déchets

<<https://www.iew.be/dechets-il-y-a-valorisation-et-valorisation/>>

Fig. 12 : Analyse du cycle de vie matériaux neufs et de réemploi

Billiet L., Rotor. Formation Bâtiment Durable : Matériaux durables : comment choisir ? Mettre en œuvre des matériaux de réemploi. [en ligne]. (page consultée le 8/12/2019) <https://environnement.brussels/sites/default/files/user_files/pres_20150402_mat_2_2recycl_fr.pdf?fbclid=IwAR0PCqMrYIMaesR8srlyFtCQFxt_x5qh7nFHFPEk6cPaDC3IF520d8jxHc>

Fig. 13 : Cycle biologique et technique de McDonough et Braungart

<https://www.researchgate.net/figure/Distinction-between-biological-and-technical-cycles-in-the-Cradle-to-Cradle-design_fig2_322555840>

Fig. 14 : Types de connexions

Paduart A. (2012) Re-design for change, thèse sous la supervision de Hugo Sol et de Willy De Wilde, Bruxelles : VUB

Fig. 15 : Cadre et espace générique de Leupen

Leupen, B. (2006). « Frame and Generic Space: A study into the changeable dwelling

Fig. 16 : Objectif

Schéma réalisé par l'auteure

Fig. 17 : Vue sur le projet ; Composition du projet et orientation ; Créations de balcons en hauteur

AHH, 2020 Centraal Beheer Offices, Apeldoorn [en ligne] (page consultée le

21/03/2020) <<https://www.ahh.nl/index.php/en/projects2/12-utiliteitsbouw/85-centraal-beheer-offices-apeldoorn>>

Fig. 18 : Plan d'implantation

Schéma réalisé par l'auteure, image reprise sur google earth

Fig. 19 : 5 accès aux 5 noyaux centraux ; Répartition du rez-de-chaussée ; Répartition d'un module de bureau

Herzberger, H., (2014). Polyvalence: The Competence of Form and Space with Regard to Different Interpretations. *Architectural Design*. [en ligne], 84 (5) (page consultée le 21/03/2020)

Documents retravaillés par l'auteure.

Fig 20 : Centraal Beheer office complex

AHH, 2020 Centraal Beheer Offices, Apeldoorn [en ligne] (page consultée le 21/03/2020) <<https://www.ahh.nl/index.php/en/projects2/12-utiliteitsbouw/85-centraal-beheer-offices-apeldoorn>>

Documents retravaillés par l'auteure.

Fig. 21 : Vue d'ambiance cité internationale de Cuques

CANAL Architecture, (2015).

Fig. 22 : Plan d'implantation

Schéma réalisé par l'auteure, image reprise sur google earth

Fig. 23 : Profondeur des locaux et lumière naturelle

CANAL Architecture, (2015).

Fig. 24 : Coupe du système constructif, schéma de la manutention des modules

Pelegrin-genel, E., Le logement industrialisé vu par l'architecte Patrick Rubin- en ligne (21.06.2013) : <<https://www.lemoniteur.fr/article/le-logement-industrialisevu-par-l-architecte-patrick-rubin.826769>> [26.05.2020].

Fig. 25 : Adaptabilité logements (en rouge : circulation, en bleu : pièces d'eau)

CANAL Architecture, (2015).

Document retravaillé par l'auteure.

Fig. 26 : Adaptabilité bureaux (en rouge : circulation, en bleu : pièces d'eau)

CANAL Architecture, (2015).

Document retravaillé par l'auteure.

Fig. 27 : Scénarii : Logements modulables et durables

LP Promotion. Appel à projet Urbalab. (2016)

<<https://www.immoneuf.com/actualites/innovation-des-logements-neufs-modulables-et-durables/a19025>>

Fig. 28 : Façades avant et arrière de l'écoquartier du Pic-au-Vent
Bernard Boccara, Éric Marchal et Quentin Wilbaux. (2017)
Ecoquartier du Pic-au-Vent
<<http://www.archistorm.com/ecoquartier-pic-vent-a-tournai-belgique/>>

Fig. 29 : Plan d'implantation
Schéma réalisé par l'auteure, image reprise sur google earth

Fig. 30 : Plan masse de l'écoquartier
Bernard Boccara, Éric Marchal et Quentin Wilbaux. (2017)
Ecoquartier du Pic-au-Vent
<<http://www.archistorm.com/ecoquartier-pic-vent-a-tournai-belgique/>>

Fig. 31 : Système structurel d'une maison Patio
Bernard Boccara, Éric Marchal et Quentin Wilbaux. (2017)
Ecoquartier du Pic-au-Vent
<https://energie.wallonie.be/servlet/Repository/cale3_8oct2010_4_temoignage-picauvent.pdf?ID=15901>

Fig. 32 : Façades du Circular Retrofit Lab
BAMB, VUB, Kaderstudio. (2019).
<<https://www.bamb2020.eu/topics/pilot-cases-in-bamb/retrofit-lab/>>

Fig. 33 : Plan d'implantation
Schéma réalisé par l'auteure, image reprise sur google earth

Fig. 34 : Flexibilité interne, flexibilité externe, structure
BAMB, VUB, Kaderstudio. (2019).
<<https://www.bamb2020.eu/topics/pilot-cases-in-bamb/retrofit-lab/>>

Fig. 35 : Démontabilité de la façade ; détail du module de façade
BAMB, VUB, Kaderstudio. (2019).
<<https://www.bamb2020.eu/topics/pilot-cases-in-bamb/retrofit-lab/>>

Fig. 36 : 3 types d'affectations (conférence/expositions, logements, bureaux)
BAMB, VUB, Kaderstudio. (2019).
<<https://www.bamb2020.eu/topics/pilot-cases-in-bamb/retrofit-lab/>>

Fig. 37 : Composition des parois
BAMB, VUB, Kaderstudio. (2019).
<<https://www.bamb2020.eu/topics/pilot-cases-in-bamb/retrofit-lab/>>

Fig. 38 : Fabrications des modules
Atelier de l'avenir. (2019).
<http://www.atelier-de-lavenir.be/01116/en/CIMEDE>

Fig. 39 : Composition des modules préfabriqués
Atelier de l'avenir. (2019).
<http://www.atelier-de-lavenir.be/01116/en/CIMEDE>

Fig. 40: Vue sur L'Everyone's Hill
KADERSTUDIO
Document retravaillé par l'auteure
<<http://kaderstudio.eu/index.php?/albums/>>

Fig. 41 : Plan d'implantation
Schéma réalisé par l'auteur. Image reprise sur google earth

Fig. 42 : Système à 3 noyaux concentriques ; Ambiance extérieure
KADERSTUDIO
<<http://kaderstudio.eu/index.php?/albums/>>
Document retravaillé par l'auteure

Fig. 43 : Échelle de réversibilité et cycle de vie
Schéma réalisé par l'auteure, certaines images inspirées de Bohlke, A., Dooreman, B., Lasserre, C., Laconte, P., (2013) Bureaux du passé, habitants du présent- Région de Bruxelles-capitale, p 2.

Fig. 44 : Approches et interventions aux 3 qualités de Vitruve pour répondre à l'obsolescence
Schéma réalisé par l'auteure, d'après Ledent, G., Salembier, C., Vanneste, D. (2019). « Sustainable dwelling: Between Spatial Polyvalence and Residents' Empowerment ». Louvain : Presses universitaires de Louvain (PUL). 205 p.

Fig. 45 : Type de structure
Schéma modifié par l'auteure d'après :
Bohlke, A., Dooreman, B., Lasserre, C., Laconte, P., (2013) Bureaux du passé, habitants du présent- Région de Bruxelles-capitale, p 2.

Fig. 46 : Trame de béton
<Bauforumstahl.de>

Fig. 47 : Trame de l'acier
<Bauforumstahl.de>

Fig. 48 : Positionnement de la circulation
1. au centre
2. à l'intérieur le long des façades
A. BOHLKE, B. DOOREMAN, C. LASSERRE et P. LACONTE, Bureaux du passé, habitants du présent- Région de Bruxelles-capitale, p 27, 2013.

Fig. 49 : Positionnement de la circulation à l'extérieur le long des façades
A. BOHLKE, B. DOOREMAN, C. LASSERRE et P. LACONTE, Bureaux du passé, habitants du présent- Région de Bruxelles-capitale, p 27, 2013.

Fig. 50 : Hauteur sous plafond selon les fonctions
CANAL Architecture. (2015)

Fig. 51 : Types de façades

A. BOHLKE, B. DOOREMAN, C. LASSERRE et P. LACONTE, Bureaux du passé, habitants du présent- Région de Bruxelles-capitale, p 27, 2013.

Fig. 52 : Positionnement des techniques de ventilation

A. BOHLKE, B. DOOREMAN, C. LASSERRE et P. LACONTE, Bureaux du passé, habitants du présent- Région de Bruxelles-capitale, p 27, 2013.

Fig. 53 : Proposition d'un premier système constructif

Schéma réalisé par l'auteure

Fig. 54 : Densité de population et Âge moyen- commune d'Anderlecht

<<https://monitoringdesquartiers.brussels/>>

Fig. 55 : Analyse du quartier Meir et implantation du projet

Schéma réalisé par l'auteur, image reprise sur google earth

Fig. 56 : Contrats de quartier - Anderlecht

<https://mybrugis.irisnet.be/brugis/?fbclid=IwAR0f8yNJUev18fBkQ3aUaf9IFCBvVovW4KVwlycZtpljf7m232tqxDld2bE#>

Fig. 57 : Elévation Sud du bâtiment

Document réalisé par l'auteure

Fig. 58 : Mixité de fonctions ; Biodiversité et espaces privés extérieurs

Documents réalisés par l'auteure

Fig. 59 : Axonométrie du bâtiment

Document réalisé par l'auteur

Fig. 60 : Plan d'implantation

Document réalisé par l'auteur

Fig. 61 : Plan des bureaux

Document réalisé par l'auteure

Fig. 62 : Plan des logements

Document réalisé par l'auteure

Fig. 63 : Coupe technique

Document réalisé par l'auteure

Fig. 64 : Hiérarchie du principe constructif

1. Structure portante fixe

2. Enveloppe à couches indépendantes et cloisons séparatives modifiables (baie démontable)

3. Cloisons distributives démontables

Schéma réalisé par l'auteure

Fig. 65 : Détail cloison séparative modifiable - ossature bois
Schéma réalisé par l'auteur

Fig. 66 : Détail cloison distributive démontable - ossature bois
Schéma réalisé par l'auteur

Fig. 67 : Détail de façade
Schéma réalisé par l'auteur

Fig. 68 : Noyau de circulation et de service ; Mixité d'appartements
Documents réalisés par l'auteur

Fig. 69 : Adaptabilité bureaux/logements
Documents réalisés par l'auteur

Fig. 70 : Evacuation d'eau logement
Schéma réalisé par l'auteur

Fig. 71 : Cloison séparative modifiable (baie démontable)
Document réalisé par l'auteur

Fig. 72 : Plans d'adaptabilité logements – petit noyau
Documents réalisés par l'auteur

Fig. 73 : Plans d'adaptabilité logements – grand noyau
Documents réalisés par l'auteur

Fig. 74 : Ventilation et détail de façade
Document réalisé par l'auteur

Fig. 75 : Plan de ventilation logement/bureau
Bureau : Alimentation en façade, extraction en façade opposée
Logement : Alimentation en façades, extraction en sanitaires
Schéma réalisé par l'auteur