
Mémoire de fin d'études: "Les extensions multifonctionnelles, quel potentiel pour la rénovation énergétique des immeubles collectifs construits entre 1945 et 1975".

Auteur : Lafleur, Elodie

Promoteur(s) : Trachte, Sophie

Faculté : Faculté d'Architecture

Diplôme : Master en architecture, à finalité spécialisée en art de bâtir et urbanisme

Année académique : 2023-2024

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/19535>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.



Université de Liège – Faculté d’Architecture

Les extensions multifonctionnelles, quel potentiel pour la
rénovation énergétique des immeubles collectifs construits entre
1945 et 1975 ?

Travail de fin d’études présenté par Elodie LAFLEUR en vue de l’obtention du grade de Master
en Architecture

Sous la direction de : Sophie TRACHTE

Année académique 2023-2024





Source : Photo prise par l'autrice

Abstract

Face aux nouveaux défis environnementaux, les ensembles de logements d'après-guerre se caractérisent par un faible niveau de confort et une vétusté importante et, par conséquent, une performance énergétique médiocre. En outre, ces bâtiments, construits pour répondre à la pénurie de logements de l'après-guerre, ne correspondent plus aux normes d'habiter et de qualité de vie actuelle. L'évolution des modes de vie, des technologies et des matériaux de construction ainsi que des normes esthétiques d'architecture sont des facteurs qui confrontent les logements modernistes à l'obsolescence. Les bâtiments d'après-guerre constituent ainsi une cible importante dans les stratégies européennes visant à réduire l'impact environnemental des bâtiments existants. En effet, selon les recommandations du BPIE, 75 % du parc immobilier européen doit être rénové et rendu plus efficace sur le plan énergétique d'ici 2050. Dans le cadre de la stratégie de rénovation à long terme wallonne, ces logements collectifs sont classés parmi les bâtiments prioritaires.

Un élément clef de la rénovation énergétique de ces complexes d'habitation est la mise en place de systèmes de ventilation hygiénique, qui font encore souvent défaut. Ces dispositifs sont d'autant plus importants que les bâtiments modernistes, lorsqu'ils sont rénovés et isolés, deviennent plus étanches à l'air. Par conséquent, sans système de ventilation, le renouvellement de l'air peut devenir insuffisant, et entraîner une mauvaise qualité de l'air dans l'habitat. Malgré leur importance, leur intégration technique reste complexe, et ce, pour les raisons suivantes : une organisation spatiale peu adéquate, des surfaces habitables souvent exiguës, y compris dans le dimensionnement des gaines techniques existantes et une faible hauteur sous plafond dans les différents espaces des logements.

Nombreux sont les praticiens professionnels et les scientifiques qui se questionnent aujourd'hui sur la manière d'intervenir énergétiquement sur ces bâtiments, sans les démolir de manière significative et sans produire de déchets, et ce afin d'inscrire la rénovation énergétique dans les objectifs d'économie circulaire.

Dans ce cadre, la proposition d'extensions multifonctionnelles doit être questionnée, notamment parce qu'elle procure une surface habitable supplémentaire et une opportunité d'intégrer plus facilement des systèmes techniques tout en offrant un espace tampon d'un point de vue thermique et un accès vers l'extérieur.

Elle doit cependant être étudiée avec soin de façon à garantir un confort thermique accru et une réduction des consommations énergétiques ainsi qu'un apport de lumière naturelle suffisant. En outre, les aspects structurels et esthétiques doivent être abordés.

Ainsi, le TFE soulève une série de questions sur le potentiel de cette multifonctionnalité et les réponses qu'elle peut apporter en termes d'amélioration du confort et de la performance énergétique. Jusqu'où cette multifonctionnalité peut-elle être poussée ? Est-il possible d'intégrer des dispositifs techniques dans ces extensions afin de mettre ces immeubles aux normes thermiques actuelles ? Ces sous-questions conduisent à la question de recherche suivante : les extensions multifonctionnelles, quel potentiel pour la rénovation énergétique des immeubles collectifs construits entre 1945 et 1975 ?

Remerciements

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers toutes les personnes qui ont contribué de manière significative à la réalisation de ce travail de fin d'études.

Tout d'abord, je souhaite adresser mes sincères remerciements à Madame Trachte, ma promotrice, pour sa guidance experte, sa patience et son dévouement. Son expertise a été une source d'inspiration constante, et son soutien indéfectible a été inestimable tout au long de ce parcours académique.

Je tiens également à exprimer ma reconnaissance envers Cyrielle Michel, dont le temps précieux et les visites guidées de la plaine de Droixhe ont grandement enrichi mes connaissances et ma compréhension du sujet abordé dans ce travail.

Un merci tout particulier est adressé à François Laurent, dont le partage éclairé de connaissances sur la stabilité des extensions ajoutées a été d'une valeur inestimable.

Je souhaite également exprimer ma profonde gratitude envers ma famille et mes amis. Leur soutien indéfectible, leurs encouragements constants et leur compréhension ont été les piliers sur lesquels j'ai pu m'appuyer tout au long de cette aventure académique.

Enfin, un merci sincère à tous les lecteurs et lectrices qui prendront le temps de parcourir ce travail.

Table des matières

Introduction	11
Problématique	13
Méthodologie	22
Analyse typologique des logements collectifs d'après-guerre.....	22
Cas d'étude représentatif.....	23
Recherche et identification de solutions d'extensions multifonctionnelles.....	24
Analyse comparative des solutions d'extensions multifonctionnelles	25
Application interprétative sur le cas d'étude choisi	25
Discussion et conclusion.....	26
Etat de l'art	29
Les bâtiments collectifs d'après-guerre	31
Les faiblesses des constructions modernistes	33
La rénovation énergétique	35
Les freins des immeubles collectifs d'après-guerre dans la rénovation énergétique	37
L'ajout d'extensions comme technique de rénovation énergétique.....	38
Conclusion.....	39
Partie 1 - Le logement social	41
L'histoire du logement social	42
Analyse typologique des logements collectifs des immeubles d'après-guerre	45
La flexibilité spatiale	46
La flexibilité spatiale dans les immeubles de logements d'après-guerre.....	46
Tableau récapitulatif : Complexité de la réorganisation des espaces suivant le type de circulation	58
Partie 2 - Droixhe	60
Contexte géographique	62
Le projet.....	62
Que devient Droixhe aujourd'hui ?	63
Les modifications architecturales du projet de requalification de Droixhe	64

Le secteur Truffaut-Libération	68
Le secteur « Avenue de la Croix-Rouge »	68
Partie 3 - Le cas d'étude	70
Choix du cas d'étude	72
Méthodologie.....	72
La tour Atlas.....	76
Construction de la tour Match.....	76
Modifications qui ont été entreprises.....	76
Analyse générale - fonctionnement et gabarit.....	79
Analyse organisation spatiale.....	81
Analyse structurelle.....	83
Analyse bioclimatique	89
Conclusion des analyses effectuées sur la tour Matcha	95
Analyse spatiale des logements.....	97
Tableau reprenant les indications du Règlement Régional d'urbanisme	103
Conclusion.....	106
Optimisation des conditions de vie : Analyse des améliorations requises pour le cas d'étude	108
Les défis techniques et spatiaux liés à la rénovation énergétique de la tour Atlas	110
Partie 3 - Les extensions multifonctionnelles	118
Exemples d'opérations de rénovation intégrant des extensions	119
Les extensions ponctuelles.....	120
Les extensions en bandes continues.....	145
Tableau synoptique des extensions	159
Méthodologie de conception du tableau récapitulatif.....	159
Constatations - Analyse comparative	161
Quelles améliorations pour ces extensions ?	165
Conclusion	165
Partie 4 : Une extension multifonctionnelle adaptée au cas d'étude	169
Les scénarii d'implantation d'extensions multifonctionnelles.....	173
Les facteurs influençant le choix de l'extension	173

Tableau reprenant les indications du Règlement Régional d'urbanisme	176
Les différents scénarios - Cas de la tour Atlas	178
Conclusion	197
Conclusion	199
Bibliographie	202
Table des illustrations	209
Annexes	213

Introduction

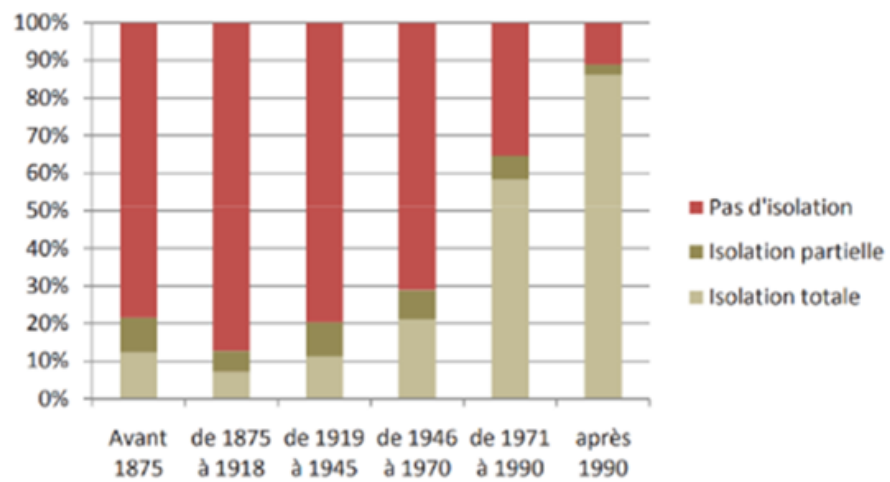


Fig. 1 - Pourcentage d'habitations wallonnes dotées, selon leur époque de construction, d'une isolation des murs
 Source : Enquête-qualité 2007 - DGATLP, MRW

Problématique

À l'heure où nous faisons face à de nouveaux défis environnementaux, les ensembles résidentiels d'après-guerres se caractérisent par un niveau de confort et de qualité peu élevé, par un état de vétusté souvent avancé et, ce faisant, une consommation énergétique élevée (Architecture et Climat, 2020). En effet, si ces immeubles ont répondu adéquatement à une pénurie de logements après la Seconde Guerre mondiale, ils ne répondent plus aux normes actuelles d'habiter et de confort ainsi qu'aux réglementations de performance énergétique (Architecture et Climat, 2020). De fait, peu isolés, gros consommateurs en énergie de chauffage et souvent demandeurs de travaux d'entretien conséquents, ces immeubles présentent un besoin urgent de modernisation. Cette nécessité d'actualisation des bâtiments de logements sociaux est également dictée par le concept de construction durable. Selon le Service public de Wallonie (n.d), la construction durable a pour but de maximiser les performances environnementales et sociétales des bâtiments. Cette approche cherche à créer des constructions respectueuses de l'environnement et à améliorer la qualité de vie des habitants en intégrant des matériaux durables, des technologies énergétiques efficaces et en considérant l'ensemble du cycle de vie du bâtiment. Cependant, les modes de vie changeants, l'évolution des techniques de construction et des matériaux ainsi que les codes d'esthétique architecturale évoluant sont des facteurs qui confrontent les logements modernistes à une certaine désuétude. Afin de trouver une réponse à cette obsolescence des espaces, des solutions architecturales se présentent pour adapter les espaces selon les besoins de leurs occupants. Le concept de la polyvalence permet d'aller à l'encontre du fonctionnalisme figé en adaptant les espaces par des agrandissements par exemple. Leupen et Hetzberger (Ledent et al., 2020, p.12) définissent la polyvalence comme « l'interchangeabilité de fonctions ». Ces bâtiments d'après-guerre sont ainsi des cibles importantes dans les tentatives européennes de réduction des impacts environnementaux du parc immobilier existant.

Plus généralement, seulement 21% des logements construits entre 1946 et 1970 ont bénéficié d'une isolation totale des murs, 71% n'étant pas du tout isolés (fig.1). Il est donc urgent de les rénover et de les rendre plus efficaces d'un point de vue énergétique.

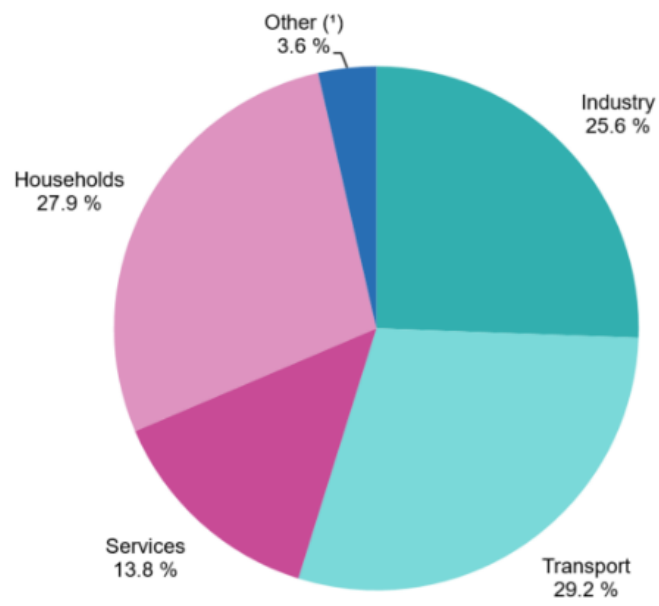


Fig. 2 - Consommation d'énergie selon le secteur; 2021
Source : Eurostat

Nous vivons dans une période où la rénovation énergétique est de plus en plus mise en avant. En effet, les bâtiments représentent une source majeure de consommation d'énergie, mais également d'émissions de CO2 liées à l'énergie au sein de l'Union européenne. Ce parc immobilier consomme environ 40% de l'énergie totale et émet 36% des émissions de gaz à effet de serre liées à l'énergie au sein de l'UE (fig.2). Décidément, 2/3 des bâtisses ne sont pas économes énergétiquement alors que 85 à 95% seront encore utilisés après 2050 (Secrétariat général du Conseil de l'Union européenne, 2021).

Par conséquent, selon les recommandations du BPIE, 75% du parc immobilier européen devrait être rénové d'ici 2050, afin de le rendre plus efficace énergétiquement parlant (Cadiman, 2022).

C'est en octobre 2020 que la Commission a dévoilé une nouvelle stratégie baptisée "Une vague de rénovations pour l'Europe". Cette initiative vise à rénover énergétiquement 35 millions de bâtiments dans l'Union européenne dans les dix prochaines années, en mettant l'accent sur une utilisation plus efficace de l'énergie et des ressources. Effectivement, à l'heure actuelle, le taux de rénovation énergétique du parc immobilier s'élève seulement à 1%/an dans l'UE (Commission européenne, 2020). Ainsi, la stratégie élaborée vise à doubler ce pourcentage d'ici 2030. Elle s'appuie sur les mesures déjà convenues dans le cadre du paquet "Une énergie propre pour tous les Européens" (Commission européenne, 2016), en obligeant chaque État membre à publier une stratégie de rénovation des bâtiments à long terme et à inclure des éléments relatifs à la construction dans leurs plans nationaux en matière d'énergie et de climat.

La Directive européenne 2010/31/UE vise l'amélioration de la performance énergétique des bâtiments de l'Union tout en diminuant la consommation d'énergie. Cette directive, qui a été amendée en 2018, vise à assurer que chaque État membre de l'Union européenne dispose d'un parc immobilier performant sur le plan énergétique et respectueux de l'environnement d'ici à 2050. Son objectif essentiel est de promouvoir une rénovation à grande échelle des bâtiments publics et privés en vue de créer un parc immobilier à haute efficacité énergétique. Pour atteindre cet objectif ambitieux, la directive établit l'obligation pour chaque État membre de développer des stratégies de rénovation à long terme. Celles-ci doivent soutenir activement la modernisation des bâtiments existants, en mettant l'accent sur l'amélioration de leur performance énergétique (Le Parlement européen et le Conseil de l'Union européenne, 18 juin 2010).

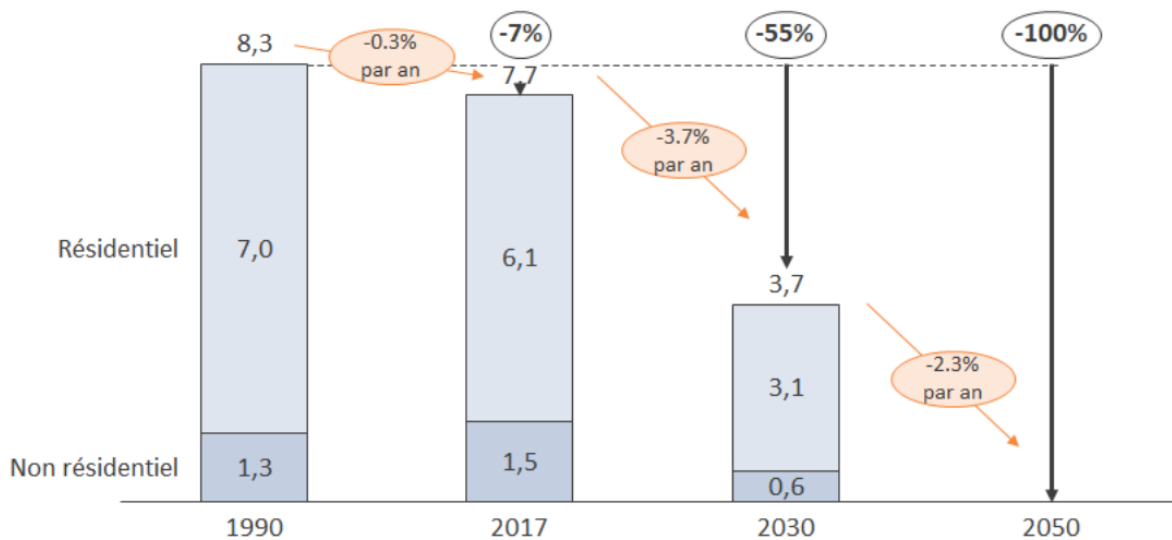


Fig. 3 - Evolution des émissions de GES des bâtiments en Wallonie et objectifs à 2030 et 2050
 Source : AwAC, CLIMACT



Fig. 4 - Exigences PEB - Procédures selon la nature des travaux
 Source : Site énergie du Service public de Wallonie

Une des mesures majeures consiste à accélérer la transition des bâtiments vers une consommation d'énergie quasi nulle d'ici 2050 (fig.3). À cet effet, la directive introduit une exigence contraignante de consommation d'énergie quasi nulle pour tous les nouveaux bâtiments construits à partir de 2021. Parallèlement, elle encourage également l'adoption de technologies intelligentes dans le cadre de la modernisation de l'ensemble des bâtiments existants (Le Parlement européen et le Conseil de l'Union européenne, 19 mai 2010).

Afin d'atteindre cet objectif, elle fixe des exigences au niveau de divers points. Le premier concerne l'instauration d'une méthode de calcul de la performance énergétique des bâtiments. Ensuite, il s'agit d'appliquer des exigences minimales en ce qui concerne la performance énergétique des nouveaux bâtis, mais également lorsqu'il s'agit de bâtiments existants, endurant des rénovations lourdes. De plus, la directive ordonne un certificat de performance énergétique pour les bâtiments neufs et aussi existants. Et pour finir, le parlement européen réclame une inspection régulière des systèmes de climatisation et de chauffage (Le Parlement européen et le Conseil de l'Union européenne, 19 mai 2010).

La stratégie de rénovation à long terme d'un bâtiment est un élément très important de la transition de la Wallonie vers une société décarbonée, s'inscrivant dans la mise en œuvre de la Directive (UE) 2018/844 du Parlement européen et du Conseil (2018). Elle tâche à établir un parc immobilier énergétiquement performant et décarboné jusqu'en 2050, tout en assurant des logements sains ainsi que confortables. Les immeubles à logements collectifs sont catégorisés comme immeubles prioritaires dans la rénovation énergétique wallonne (De Meyer et al., 2013).

De fait, la stratégie s'assure que les ménages les plus défavorisés font partie des cibles principales afin de faciliter la rénovation de groupe de logements subissant une précarité énergétique, tout en offrant une qualité de vie meilleure (SPW, 2020, p.4). En ce qui concerne les exigences PEB en Wallonie, deux procédures PEB sont possibles, selon les types de travaux entrepris. De fait, les immeubles d'après-guerre bénéficient de rénovations conséquentes au niveau de l'enveloppe. Effectivement, plus de ¼ de l'enveloppe fait l'objet d'une réhabilitation (SPW, 2021). Dans ce cas de figure, une procédure avec un responsable PEB doit être envisagée (fig.4).

NATURE DES TRAVAUX SOUMIS À PERMIS				Valeurs U	Niveau K	Niveau E _{tr}	Consommation spécifique	Ventilation	Surchauffe
				U	K	E _{tr}	E _{spéc}	V	S
Procédure AVEC responsable PEB	Bâtiment neuf ou assimilé	PER	Maisons unifamiliales Appartements	≤ U _{max} (1)	≤ K35 + nœuds constructifs	45	85 kWh/m ² ·a n	Annexe C2	< 6.500 kWh
		PEN	Bureaux Services Enseignement Hôpitaux HORECA Commerces Hébergements collectifs ...			90/45 (2)		Annexe C3	
		I	Industriel						
	Rénovation importante (4)			Uniquement éléments modifiés et neufs				(3)	
Procédure SANS responsable PEB Déclaration PEB simplifiée	Rénovation simple, y compris Changement d'affectation chauffé > chauffé (4)			≤ U _{max} (1) des éléments modifiés et neufs				(3)	
	Changement d'affectation non chauffé > chauffé (4)				≤ K65 + nœuds constructifs			Annexe C2 ou C3	

Fig. 5 - Tableau des exigences en fonction de la nature des travaux
Source : Site énergie du Service public de Wallonie

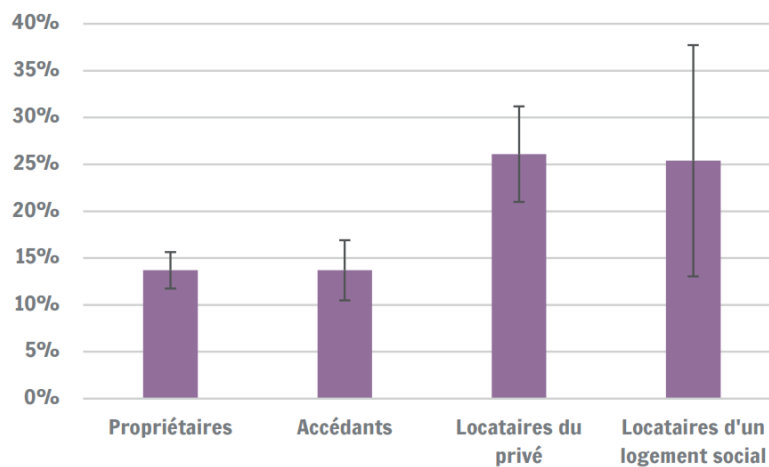


Fig. 6 - Proportion de personnes vivant dans un logement avec un taux d'humidité trop élevé
Source : SILC, 2021 Calculs : IWEPS

Pour le calcul de la performance énergétique des immeubles collectifs, chaque appartement est analysé distinctement et doit donc répondre à des critères imposés relatifs au niveau Ew, à la consommation spécifique, à la surchauffe et finalement à la ventilation (fig.5). Lorsque les fenêtres ou portes sont remplacées dans les bâtiments résidentiels, la mise en place des systèmes de ventilation doit satisfaire aux exigences de ventilation relatives aux amenées d'air. Les débits figurant dans le tableau 1er de la norme NBN D50-001 ainsi que les 45 m³/h par mètre courant de fenêtre qui est remplacée ou ajoutée doivent être respectés.

Un aspect important dans la rénovation de ces immeubles collectifs est l'apport d'un système de ventilation hygiénique, encore trop souvent absent. Ces systèmes de ventilation sont d'autant plus importants que ces bâtiments, une fois rénovés et isolés, présenteront un niveau d'étanchéité à l'air plus important que lors de leur construction (Demesmaecker, 2014, p.29). En absence de ventilation, l'air neuf n'est plus suffisamment renouvelé, engendrant ainsi dans ces espaces d'habitation, une qualité d'air médiocre et un risque sanitaire accru.

En l'année 2022, en Wallonie, une proportion de 17,4 % de la population résidente se trouve dans des habitations exposées à des problèmes d'humidité. Cette préoccupation manifeste une disparité significative en fonction du statut d'occupation du logement, affectant de manière plus prononcée les locataires, qu'ils soient affiliés au secteur privé ou résidant dans des logements à vocation sociale (IWEPS, 2023).

Conséquemment, environ 4 millions de personnes décèdent chaque année précocement de maladies imputables à la pollution de l'air domestique (OMS, 2021). L'installation de systèmes de ventilations permet donc un air sain dans l'ensemble des pièces isolées sans perte d'énergie ni d'inconfort thermique (Demesmaecker, 2014, p.15). L'installation de systèmes de ventilation dans ces immeubles est d'autant plus importante, qu'ils sont souvent densément peuplés et que les nombreuses activités des occupants génèrent une production très significative de vapeur d'eau (Architecture et Climat, 2020, p.158). De fait, un ménage de 4 personnes produit environ 10 litres d'eau, sous forme de vapeur, par jour (Architecture et Climat, 2020, p.158). Cette dernière doit donc absolument être évacuée sous peine de voir apparaître des problèmes de condensations, d'humidité et de prolifération de micro-organismes (fig.6).

Les priorités wallonnes pour la rénovation durable de son stock bâti vont d'abord à l'amélioration significative de l'enveloppe qui se compose de la toiture, des façades et de la dalle de sol. Ensuite, à l'optimisation des équipements techniques tels que la ventilation ainsi que le chauffage sont entrepris. Pour finir, cette rénovation énergétique par étapes cible l'installation de sources de production d'énergie renouvelable (SPW, 2020, p.37). La plupart des logements des immeubles construits entre 1945 et 1975 sont exigus. L'intégration des gaines techniques est techniquement difficile et ce pour diverses raisons.

Premièrement, une hauteur sous-plafond généralisée à environ 2,5m permet difficilement l'installation d'un faux plafond pour accueillir les tuyaux de la ventilation (Joffroy, 1999, p.113). Le manque de surface pour la mise en place des nouvelles gaines y joue également un rôle. Et si des grilles sont installées dans les châssis de fenêtre pour l'apport d'air neuf, ces grilles sont régulièrement calfeutrées par les occupants.

De plus, les poutres épaisses des ossatures en béton ne permettent pas d'installer facilement et rapidement de nouvelles gaines techniques (Centre d'Étude, de Recherche et d'Action en Architecture asbl., 2008, p.72). En outre, l'accès à chaque logement doit être garanti pour l'installation des différents systèmes, mais également pour assurer leur entretien et leur maintenance. Dans le cadre de la mise en œuvre des dispositifs de ventilation, quelle approche sera adoptée ?

Nombreux sont les architectes qui se sont déjà questionnés sur les interventions de rénovation énergétique potentielles à réaliser sur des bâtiments existants sans réaliser d'importantes démolitions et sans produire trop de déchets. Un exemple est la réhabilitation de la Cité Modèle. Il s'agit d'un projet composé d'un programme complet avec tous les services appartenant à un quartier urbain (logements, églises, écoles, commerces, etc), répondant aux caractéristiques de l'architecture moderniste (Ledent, 2014). Un autre projet à citer est celui de la tour Brunfaut à Molenbeek. C'est une tour typique de l'architecture moderne, soutenue par une structure en béton, permettant la rénovation (Schmitt et al., 2013, p.12). D'autres projets de rénovation de l'action « Bâtiments Exemplaires Wallonie » peuvent être cités tels que le projet Heliport 1, avec l'ajout d'une seconde peau et la remise à neuf des systèmes thermiques et la rénovation complète de l'enveloppe de l'immeuble Florair. On peut également nommer le bureau Lacaton&Vassal qui, afin d'améliorer le confort et la spatialité des logements, propose de doubler la façade de l'immeuble en ajoutant des extensions.

Ces dernières permettent une augmentation de l'espace pour chaque logement et offrent donc une meilleure qualité de vie. Les superficies ajoutées servent également de zone tampon pour réguler le climat intérieur du logement en fonction des saisons tout en baissant la consommation énergétique (Lacaton&Vassal, 2014, p.6). Le projet La Chesnaie à Saint Nazaire ainsi que la transformation de 530 logements du quartier Grand Parc en témoignent (Lacaton&Vassal, 2014, pp.7-10).

On peut ainsi parler d'extensions à multifonctionnalité dans la mesure où elles répondent à différentes fonctions, besoins et usages. Les adjonctions sont capables de répondre simultanément à un ajout de surface supplémentaire, de fournir un confort thermique diminuant les factures d'énergie, de remettre en avant l'aspect esthétique d'un immeuble ainsi que de garantir un apport de lumière naturelle maximisé (Moley, 2017, p.41). Par conséquent, le TFE questionne le potentiel de cette multifonctionnalité et les réponses que celle-ci peuvent apporter en termes de confort et d'amélioration de la performance énergétique. Jusqu'où peut-on pousser cette multifonctionnalité ?

Peut-on envisager d'intégrer des dispositifs techniques dans ces extensions afin de rendre conformes le logement et l'immeuble aux normes thermiques actuelles ?

Ces sous-questions amènent donc à une question de recherche qui est la suivante :

Les extensions multifonctionnelles, quel potentiel pour la rénovation énergétique des immeubles collectifs construits entre 1945 et 1975 ?

Méthodologie

Ce travail de recherche a pour objectif de mettre en avant le potentiel de multifonctionnalité spatiale et technique des extensions et d'évaluer la possibilité d'y intégrer des dispositifs techniques, dont notamment des systèmes de ventilation. Le travail est structuré en 6 parties qui répondront chacun à un objectif particulier.

Analyse typologique des logements collectifs d'après-guerre

Cette première partie vise à mieux cerner le contexte historique et à comprendre le développement et l'évolution des grands ensembles. Dans cette démarche, on cherchera à analyser l'organisation spatiale, la structure portante et les techniques de construction des ensembles modernistes pour déterminer leur potentiel de réorganisation et de réhabilitation, ainsi que les solutions de rénovation énergétique envisageables.

Pour atteindre ces objectifs, la récolte des données se fera à partir de documents littéraires relatifs à l'histoire des immeubles d'après-guerre, provenant d'archives historiques, de recherches universitaires et d'autres sources documentaires pertinentes. Les plans des immeubles collectifs modernistes seront également étudiés pour comprendre leur agencement architectural et structurel.

Les informations ainsi recueillies seront ensuite analysées et interprétées de manière structurée et synthétique, sous forme d'un tableau récapitulatif. Une démarche comparative sera adoptée pour mettre en évidence les similitudes et les différences entre les différentes typologies de logements collectifs d'après-guerre.

Les résultats obtenus grâce à cette analyse typologique alimenteront les autres parties du Travail de Fin d'Études en offrant une compréhension approfondie des caractéristiques architecturales et techniques des logements collectifs d'après-guerre. Ces données permettront notamment de situer la flexibilité et l'adaptabilité du cas d'étude en fonction du type de structure, de la circulation verticale et horizontale, ainsi que des installations techniques. Ces informations seront essentielles pour évaluer les possibilités de rénovation et de réhabilitation de ces ensembles dans une perspective de durabilité et d'efficacité énergétique.

Cas d'étude représentatif

Dans ce travail, nous nous appuyons sur une étude de cas unique, afin de pouvoir fournir des connaissances en détail sur un sujet singulier. Certes, une étude de cas multiples aurait sûrement apporté une série d'informations supplémentaires, mais le choix le plus judicieux pour ce mémoire s'est porté sur un cas d'étude seul.

Ce cas d'étude est choisi en fonction d'une série de critères. Effectivement, la proximité géographique joue un rôle important au vu des nombreuses visites sur place pour la récolte des données. De plus, la date de construction du bâtiment choisi doit correspondre à une période bien précise, celle entre la fin de la Deuxième Guerre mondiale et le premier choc pétrolier. De ce fait, la sélection du cas d'étude s'est orientée vers le quartier de la cité de Droixhe.

T.2.1 La cité moderniste à Droixhe

Dans cette deuxième partie, l'objectif primordial est de réaliser une analyse approfondie de la cité de Droixhe, en mettant en exergue son développement historique et les modifications déjà entreprises au fil des années. La démarche vise à appréhender l'évolution de ce quartier urbain dans le temps, en particulier les changements apportés aux différents bâtiments.

Afin de réaliser cette analyse, une collecte de données pertinentes est entreprise. Tout d'abord, des documents littéraires relatifs à la construction et à l'évolution de la cité de Droixhe sont consultés. Cette source d'informations englobera des archives historiques, des recherches académiques spécifiquement axées sur cette cité, ainsi que des références documentaires dédiées à son développement urbain. En complément de cette démarche, des photographies du quartier à différentes périodes temporelles sont recueillies. Ces documents visuels constitueront un précieux témoignage des transformations physiques et architecturales qu'a connues la cité de Droixhe au cours des décennies.

La collecte de données s'articulera essentiellement autour des ouvrages spécialisés, comprenant des livres et des articles dédiés à l'histoire et à l'évolution de la cité de Droixhe. Une fois les données récoltées, leur interprétation approfondie et rigoureuse est réalisée. L'analyse mettra en évidence les principaux moments clés de l'évolution du quartier, les éventuelles transformations urbaines et architecturales entreprises, ainsi que les initiatives passées en matière de rénovation.

Les résultats obtenus à l'issue de cette analyse typologique de la cité de Droixhe seront mobilisés pour sélectionner un cas d'étude spécifique qui servira de base pour appliquer et valider une solution de rénovation énergétique multifonctions. Cette approche permettra de mieux cerner les spécificités et les opportunités inhérentes à la

city de Droixhe en vue de mettre en œuvre des solutions durables et efficaces pour améliorer son efficacité énergétique et sa fonctionnalité.

T.2.2 Analyse du cas d'étude et diagnostic des atouts et faiblesses du cas d'étude

L'objectif principal de ce point du travail est de réaliser une analyse approfondie de la tour Match en mettant en exergue sa structure, son fonctionnement général, le bioclimat ainsi que sa spatialité. Une attention particulière est accordée aux balcons déjà présents, faisons objet d'une analyse approfondie.

Afin d'atteindre cet objectif, nous nous baserons principalement sur les plans, coupes et détails techniques de la tour Match. Ces documents seront essentiels pour comprendre l'architecture et la conception de l'immeuble, ainsi que ses caractéristiques techniques importantes. La collecte des données se fera principalement au GAR. En étudiant ces données, elles sont représentées sous forme de schémas pour faciliter leur compréhension et mettre en évidence les différents aspects étudiés. Ces données sont ensuite interprétées de manière approfondie, ce qui permettra de mettre en évidence les atouts et les faiblesses de la tour Match.

Les résultats obtenus grâce à cette analyse détaillée de la tour Match joueront un rôle crucial dans le choix de l'extension multifonctionnelle qui sera mise en œuvre sur ce bâtiment, le cas d'étude. En s'appuyant sur les caractéristiques spécifiques de la tour, une extension adaptée est réfléchie, optimisant son potentiel énergétique tout en tenant compte des contraintes existantes.

Recherche et identification de solutions d'extensions multifonctionnelles

Cette troisième partie s'attache à analyser une série de cas d'exemples où des extensions ont été implantées lors de travaux de rénovation de bâtiments collectifs d'après-guerre. L'objectif visé est de comprendre les différentes approches d'extension adoptées dans ce contexte spécifique de rénovation.

Pour répondre à cet objectif, des données telles que des plans des bâtiments concernés ainsi que des informations plus générales sur les extensions réalisées lors des rénovations seront utilisées. Cette collecte d'informations permettra d'explorer en détail l'architecture, la conception et les caractéristiques techniques des extensions mises en place.

Pour obtenir ces données, diverses sources sont consultées, notamment des livres spécialisés, des articles académiques, des sites internet pertinents, ainsi que des documents spécifiques à chaque cas d'exemple étudié. Ces informations sont

organisées de manière structurée et représentées sous forme de fiches pour faciliter leur analyse comparative.

Les résultats de cette analyse des extensions seront d'une importance cruciale pour alimenter les autres parties du TFE. En mettant en évidence une variété d'extensions ayant été mises en œuvre dans des contextes similaires, les différentes options d'extension pourront être explorées et ensuite adaptées aux caractéristiques du bâtiment choisi pour notre cas d'étude.

Analyse comparative des solutions d'extensions multifonctionnelles

Cette quatrième partie reprend l'objectif de réaliser une analyse comparative approfondie des différentes solutions d'extensions présentées dans le point précédent. Une série de critères sont soigneusement choisis, liés aux caractéristiques architecturales des extensions, à leur mise en œuvre, leur stabilité, leur fonctionnement, leur apport, leur spatialité et finalement leur confort. Pour permettre cette analyse, des données spécifiquement liées à ces critères sont récoltées, en utilisant les fiches que nous avons préalablement établies pour chacune des extensions étudiées.

La collecte de données sera soigneusement organisée dans un tableau comparatif, permettant ainsi d'avoir une vision claire et synthétique de chaque solution d'extension et de leurs performances selon les critères préétablis. Grâce à cette approche méthodique, une interprétation approfondie des données récoltées pourra être faite, mettant en évidence les atouts et les faiblesses de chaque extension étudiée.

Les résultats obtenus grâce à cette analyse comparative permettront de sélectionner une solution ou même d'envisager un mixte de plusieurs extensions qui s'avèrent être les plus pertinentes pour le cas d'étude choisi au préalable. Ces choix de conception contribueront à optimiser l'efficacité énergétique, le confort et la fonctionnalité du bâtiment tout en préservant son intégrité architecturale.

Application interprétative sur le cas d'étude choisi

Dans cette partie essentielle du travail, l'objectif majeur est de proposer différents scénarios d'extension et de les mettre en œuvre sur le cas d'étude spécifique sélectionné. Cette démarche s'inscrit dans une vision d'optimisation de l'efficacité énergétique et du confort thermique et acoustique du bâtiment, en prenant en compte les particularités propres du cas d'étude.

Pour atteindre cet objectif, une récolte minutieuse des informations spécifiques relatives au cas d'étude est réalisée. Ces données seront extraites de l'analyse approfondie qui sera effectuée précédemment sur ce bâtiment. Les détails techniques et les plans associés sont analysés, afin de mieux comprendre les spécificités du

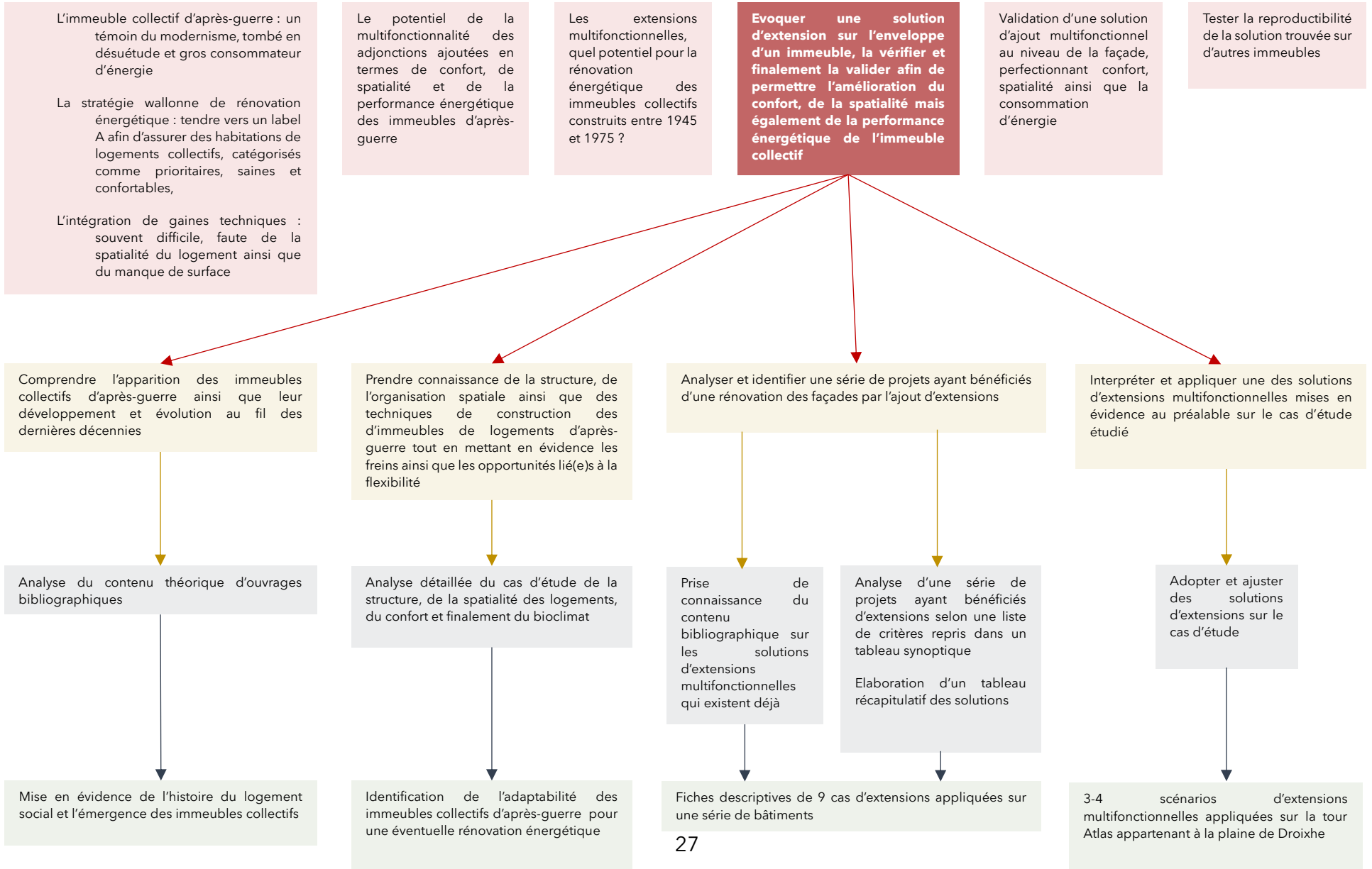
bâtiment et d'identifier les besoins spécifiques en termes d'extension. Le tableau comparatif, qui a été établi précédemment, rassemblant les différentes solutions d'extensions envisageables est pris en compte. Cette vue d'ensemble permettra d'avoir une meilleure vision des options possibles.

Discussion et conclusion

En conclusion de cette étude, des fiches des différents scénarios sont présentées. Il convient de souligner que ces scénarios représentent les premières propositions personnelles pour l'ajout d'extensions tout en intégrant la notion de multifonctionnalité. Le tableau récapitulatif, comprenant les différents critères prédéfinis, est utilisé comme outil d'évaluation afin de déterminer lequel de ces scénarios répond de manière optimale à un maximum de critères.

Cette section se clôture par une comparaison détaillée des quatre scénarios, mettant en lumière les forces et les faiblesses de chacun. L'objectif est de dégager le scénario qui, parmi les options étudiées, répond le mieux à l'ensemble des critères préalablement établis. Cette démarche comparative permet de fournir une recommandation éclairée quant à la solution d'extension la plus adéquate, basée sur des critères rigoureux et spécifiques à notre contexte d'étude.

Organigramme



Etat de l'art

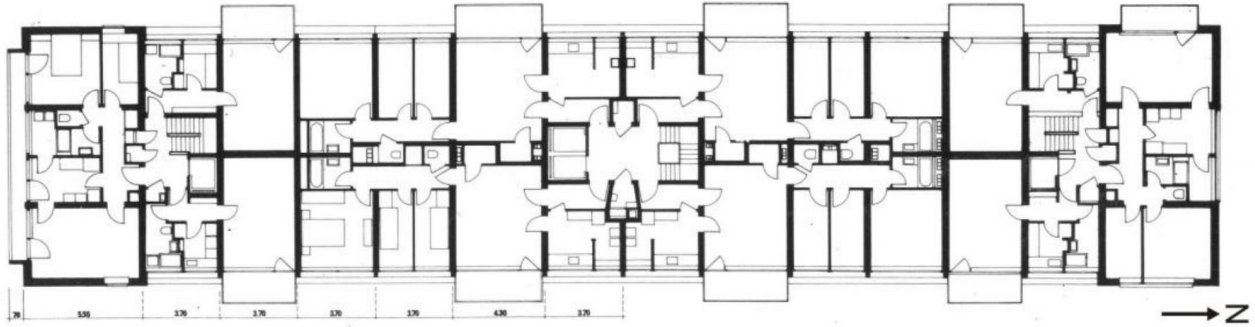


Fig. 7 - Plan d'un étage type d'un immeuble de la plaine de Droixhe à Liège
Source : Etude RELOSO



Fig. 8 - Cuisine dans un appartement d'un immeuble sur la plaine de Droixhe
Source : GAR



Fig. 9 - Salon et salle à manger dans un appartement d'un immeuble sur la plaine de Droixhe
Source : GAR

Les bâtiments collectifs d'après-guerre

À la suite de la Seconde Guerre mondiale, durant la période de reconstruction, de 1945-1975, l'Europe connaît une activité immobilière en plein essor. De nouvelles techniques de construction, des systèmes nouveaux de financement ainsi que le développement de l'industrie automobile jouent un rôle déterminant dans les façons de construire (Architecture et Climat, 2020, p. 134).

Christian Dessouroux, chercheur en géographie à l'IGEAT[1] de l'Université Libre de Bruxelles (ULB), met en avant le changement du paysage résidentiel belge au cours des dernières décennies. De fait, depuis 1950, la dispersion des habitations a connu une réelle accélération (Dessouroux & Romainville, 2011). Par suite de la demande « d'habitats modestes et sains » (Architecture et Climat, 2020, p.134), des tours de logements ainsi que les ensembles de barres aux caractéristiques modernistes ont été construits aux centres et aux périphéries des villes (Noël, 2009).

Les immeubles collectifs d'après-guerre sont ainsi les témoins de l'architecture moderne (Lemoine, 2017). En effet, une des caractéristiques principales de ces bâtiments est d'abriter la fonctionnalité suivante : habiter (Lemoine, 2017). Dans ces immeubles, l'accent a été mis sur le choix des typologies d'appartements. Les logements à 2-3 chambres ont été privilégiés par les architectes afin de répondre « à un modèle de famille (précis) sous-jacent, celui du couple avec ces deux enfants » (Pousse, 2012). Néanmoins, au vu du développement de la société actuelle, les aménagements des appartements ne sont plus adaptés au mode de vie actuel à cause de leur manque de flexibilité et d'adaptabilité.

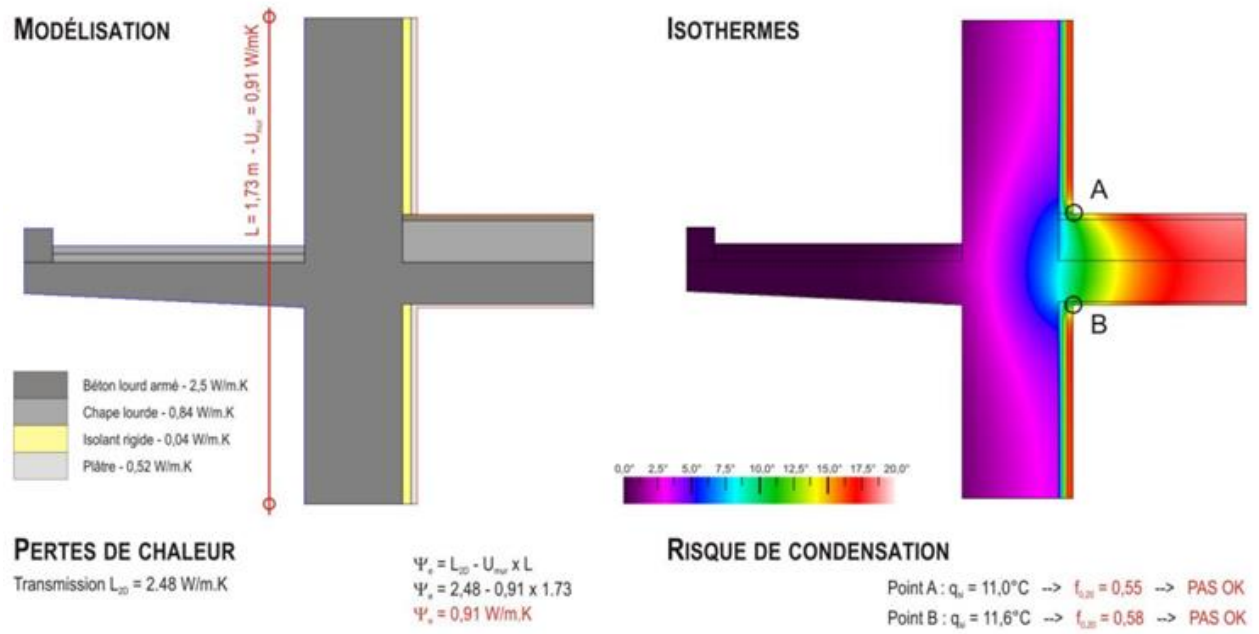


Fig. 10 - Identification d'un pont thermique à la jonction du balcon et de la façade
 Source : Etude RELOSO

Les faiblesses des constructions modernistes

Puisque l'objectif des concepteurs de ces immeubles était d'offrir de nouveaux logements à des familles, tout est mis en œuvre, à l'époque, pour améliorer la qualité de vie des habitants. Ainsi, une caractéristique fondamentale de ces immeubles modernes est d'ouvrir le logement, mais également de le prolonger vers l'extérieur par le biais des balcons (Moley, 2017, p.40), afin de laisser pénétrer un maximum de lumière naturelle par les façades vitrées. Effectivement, le déplacement des murs porteurs extérieurs vers l'intérieur (murs transversaux) a permis de garantir des profondeurs plus importantes pour les logements. Cependant, avec le prolongement des habitations, certaines pièces se trouvent avec une baisse de qualité de lumière et sont caractérisées de « zones sombres ». Sans ventilation naturelle ni éclairage, les espaces tels que la salle de bains ainsi que la cuisine sont délocalisés des façades vers l'intérieur du bâtiment (Giebeler, 2009, p.192).

Malheureusement, les ouvertures généreuses des façades présentent aujourd'hui de nombreuses faiblesses, tant au niveau de l'étanchéité à l'air qu'au niveau de la sensation de « paroi froide » et des nombreux ponts thermiques qu'elles génèrent (Lemoine, 2017). Effectivement, la fixation des balcons en porte-à-faux sans rupture thermique crée des perforations au niveau de l'enveloppe du bâtiment chauffée, engendrant des ponts thermiques (Huchant, 2018, p.31) (fig.10). Ces ponts thermiques sont également dus à une épaisseur d'isolant thermique très faible de seulement quelques centimètres (Giebeler, 2009, p.175). C'est pour l'ensemble de ces raisons que ces immeubles présentent aujourd'hui une consommation énergétique excessive, un faible confort thermique, un confort d'usage dépassé ainsi que des soucis de santé avec l'apparition de moisissures dues aux condensations intérieures (Matriciel, 2009, p.34).

La faible qualité des matériaux de construction utilisés à cette époque doit également être discutée. Une série de dégradations sont aujourd'hui visibles sur les immeubles d'après-guerre, pouvant engendrer de multiples complications au niveau du bâti. Un exemple s'applique au béton utilisé dans ces immeubles. En effet, le béton, matériau principal de construction dans l'architecture moderniste, arrive aujourd'hui à ses limites. Premièrement, la présence d'acide chlorhydrique dans le mélange de béton pour accélérer la prise attaque les armatures et affaiblit ainsi considérablement le béton. Ensuite, les armatures lisses et non crénelées, comme c'est le cas aujourd'hui, ne tiennent pas en place et glissent dans le béton.



Fig. 11- Dégradation du béton due à la carbonatation
Source : Cyrille Michel



Fig. 12 - Réparation des dégradations
Source : Cyrille Michel

Ces barres métalliques sont également souvent sujettes à la carbonatation, entraînant la fissuration du béton. Effectivement, ce phénomène est pratiquement sans conséquences majeures pour le béton lui-même, mais devient problématique lorsque les armatures sont atteintes (Houst, 1984, p.569). Le béton carbonate en contact avec du gaz carbonique dans l'air, ce qui entraîne la baisse du pH de l'eau des pores du béton (Houst, 1984, p.571). Par conséquent, les armatures, protégées dans le béton non carbonaté, peuvent être attaquées et corrodées. La rouille, qui se forme autour de l'acier, fait finalement éclater le béton en surface (Huchant, 2018, p.29).

La rénovation énergétique

Durant la période de construction des logements d'après-guerre, le réchauffement climatique était encore une notion inconnue. Jusqu'au tournant des années 60, l'utilisation accrue d'énergie peu coûteuse a été motivée par l'expansion économique, l'augmentation de construction de bâtiments et les demandes croissantes de confort. Les préoccupations liées à l'environnement telles que la pollution atmosphérique et agricole demeuraient en retrait, occupant une position secondaire dans la société. L'accent était mis sur l'industrialisation et les bénéfices perçus résultant de la croissance économique et des avancées scientifiques et technologiques (Aknin et al., 2002, p.2). Avec la reconstruction d'après-guerre est apparu le développement des procédés industriels de construction, mettant l'accent sur la performance quantitative et non sur la consommation d'énergie fossile non renouvelable (Deherde & Trachte, 2010, p.27). Le début des années 1970 a marqué un tournant avec des changements significatifs dans la sensibilisation et les débats autour des questions environnementales. Au cours de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement, en 1972, les enjeux écologiques sont au cœur des préoccupations, et ce à l'échelle mondiale. La « Déclaration de Stockholm » a permis d'inaugurer un dialogue entre les nations industrialisées et celle en développement.

Ce dialogue avait pour objectif de traiter la relation entre la croissance économique, la pollution des ressources mondiales partagées (tels que l'air, l'eau et les océans) et le bien-être des peuples à travers le globe.

Au cours des années 70, les prix de l'énergie ont explosé en raison des crises pétrolières, mettant en attente toute question relative à la gestion de l'environnement (Van de Voorde et al., 2015, p.123). S'inscrivant dans les mêmes idées que la Conférence de Stockholm, le rapport Brundlandt est présenté, en 1987, aux Nations Unies.

De cette manière, la contrainte énergétique n'imposait pas de freins dans la construction à l'époque. Or, à l'heure d'aujourd'hui, construire de manière durable et

énergétiquement efficiente est devenu une nécessité. Ainsi, la mise en conformité, la transformation et la réadaptation des bâtiments existants sont un passage obligé si l'on souhaite conserver en usage l'ensemble de ce stock bâti.

Anne Paduart, ingénieure architecte, s'est questionnée sur le sujet de la rénovation énergétique lors de sa recherche doctorale. Sa thèse propose une approche alternative aux pratiques actuelles de rénovation, qui est basée sur une stratégie de conception en 4 dimensions, développée et étudiée au département ARCH dans le laboratoire de recherche Architectural Engineering (AElab) de la Vrije Universiteit Brussel (VUB). Les approches actuelles de rénovation énergétique améliorent les bâtiments en fonction des problèmes spécifiques, identifiés préalablement. Anne Paduart met en évidence qu'aujourd'hui, les conséquences relatives à ces pratiques de rénovation, liées à la santé des utilisateurs, mais également à l'environnement, ne sont pas encore connues. Elle démontre que la majorité de ces pratiques ne sont pas réversibles et causeront ainsi des problèmes lors de futures rénovations. Sa recherche a permis d'évaluer plusieurs solutions de rénovation d'ensembles bâtis sur leur potentiel d'évolution, mettant en avant les contraintes lors de rénovations futures. Une conception alternative est proposée, utilisant des techniques et des matériaux réversibles, permettant un éventuel démontage et une éventuelle réutilisation en cas de besoin. Ce travail est appliqué sur une étude de cas, une rénovation de logements sociaux des années 70 à Bruxelles. Ce travail de recherche représente un potentiel d'analyse qui peut être crucial dans la rénovation énergétique d'aujourd'hui et de demain.

Plusieurs solutions techniques existent pour rénover énergétiquement un logement (Deherde & Trachte, 2010, p.105). Le CERAA[1] a réalisé une étude portant sur l'analyse des logements existants et la question de l'amélioration de leurs performances thermiques à travers l'application des principes de la maison passive.

L'analyse a été réalisée sur un échantillon de 9 types bâtis, choisis en fonction de leur représentativité sur le territoire de la Région de Bruxelles-Capitale. Afin de diminuer la consommation énergétique du chauffage de chaque type, une série de solutions, affectant l'architecture, ont été apportées. On peut donc y citer l'isolation thermique et l'étanchéité à l'air, ayant un impact sur l'enveloppe du volume chauffé (isolation des toitures, murs, planchers, remplacement des châssis), l'installation d'une ventilation mécanique contrôlée à double flux et la récupération de chaleur ainsi que le placement d'une chaudière à condensation (Centre d'étude, de recherche et d'action en architecture, 2008).

Lors de la mise en place d'un système de ventilation, la sensibilisation des occupants à l'importance de maintenir une bonne qualité de l'air est un élément clé pour garantir un environnement sain et confortable à l'intérieur des bâtiments. Sans cette prise de conscience, il est possible que les grilles de ventilation soient obstruées par les

locataires, pour diverses raisons. Par exemple, certains peuvent se plaindre d'inconfort ou de courants d'air, tandis que d'autres pourraient craindre que les insectes ne pénètrent à travers les grilles (Matriciel, 2009, p.11). Sophie Trachte (2010), chargée de cours à l'Université de Liège, précise également qu'un système de ventilation mécanisé souvent à double flux sera préféré, en raison de l'environnement généralement pollué et bruyant dans lequel les immeubles collectifs ont été construits. En termes de confort et de qualité de vie des occupants, l'isolation acoustique joue un rôle crucial dans les bâtiments de logements collectifs, en considération de la présence importante de nuisances sonores.

Les freins des immeubles collectifs d'après-guerre dans la rénovation énergétique

Les décisions concernant l'intervention dans les bâtiments d'après-guerre dépendent de plusieurs facteurs tels que leur utilisation, leur type de structure, leur performance thermique et l'état des plans existants (Paduart, 2012). Effectivement, de nombreux problèmes techniques interviennent dans la rénovation tels que les surfaces de vie qui empêchent l'isolation par l'intérieur, les hauteurs sous plafond, les hauteurs de dalles très faibles qui ne permettent pas l'installation de systèmes techniques, le manque de place pour de nouvelles gaines ainsi que l'organisation spatiale qui ne facilite pas les transferts d'air.

De cette façon, il existe deux démarches de rénovation distinctes (Paduart, 2012). La première, à petite échelle, cherche à améliorer l'état des bâtiments avec des interventions minimales, en évitant si possible l'évacuation des occupants. De ce fait, les possibilités de réhabilitation sont limitées par l'obligation d'effectuer les travaux de rénovation lorsque les appartements sont occupés, et ce sur une durée assez courte sans impacter négativement la vie des occupants des logements (Moley, 2017, p.39). En revanche, les rénovations à grande échelle impliquent des interventions plus radicales sur les plans spatial, technique, fonctionnel et structurel.

L'ajout d'extensions comme technique de rénovation énergétique

Le bureau d'architecture Lacaton & Vassal (2007), par l'ajout de balcons préfabriqués en béton, offre l'opportunité d'exploiter le potentiel évolutif d'un bâtiment. Cette démarche architecturale est énoncée dans leur étude PLUS et appliquée dans de nombreux projets de rénovation. En effet, les structures existantes sont gardées intactes et les balcons additionnés aux façades.

L'ajout de ces extensions permet d'améliorer le confort du logement avec l'augmentation de la surface habitable, mais également la performance énergétique du bâtiment, grâce au principe de l'espace tampon. Ces espaces ajoutés peuvent aussi complètement se fermer, grâce aux portes vitrées coulissantes. Il faut préciser que les balcons assurent un apport de chaleur, mais également une protection solaire. Cependant, les extensions ajoutées privent le logement d'un apport de lumière naturelle ainsi que de gains solaires.

Cependant, le projet SUD¹ démontre que le bilan énergétique après l'ajout d'extensions n'est pas toujours positif. S'agissant d'une étude préliminaire pour la rénovation et la densification d'une parcelle de logements à Louvain-la-Neuve, une simulation d'une extension semi-extérieure, très peu isolée et non chauffée, a été réalisée et analysée afin d'en connaître le bilan énergétique. De fait, ce dernier s'avère négatif. En raison de l'isolation faible des parois adjacentes et des apports de soleil réduits par le cloisonnement de l'extension, l'espace supplémentaire a une incidence négative sur la consommation du chauffage de l'appartement (Architecture et Climat, 2016, p.65).

Un autre système de rénovation énergétique est celui appliqué sur la Savonnerie Heymanns, sur le territoire belge, à Bruxelles. Il s'agit d'une attitude similaire à celle des architectes français. Des loggias bioclimatiques ont été pensées, afin d'offrir en premier lieu une protection thermique et acoustique aux logements, mais également un sentiment d'intimité.

Ces dispositifs de fonctionnement sans aucun service et entretien compliqué, tout en baissant considérablement les factures du chauffage (Lemoine, 2017). Une multitude de cas d'études différents seront étudiés dans la suite de ce travail.

¹ Sustainable Urban Design

Conclusion

En conclusion, l'évolution du paysage résidentiel en Belgique depuis la période de reconstruction après la Seconde Guerre mondiale jusqu'à nos jours s'est caractérisée par une forte dispersion des habitations et la construction d'immeubles collectifs modernistes. Ces derniers, centrés sur la fonction d'habitation, ont favorisé des typologies d'appartements spécifiques adaptées à un modèle familial traditionnel. Toutefois, les choix architecturaux de l'époque, notamment l'ouverture des logements vers l'extérieur via des balcons, ont engendré des problèmes énergétiques et de confort thermique. Les faiblesses structurelles, notamment au niveau des balcons sans rupture thermique, ont créé des ponts thermiques, entraînant une consommation énergétique excessive, un confort d'usage dépassé et des problèmes de santé tels que la formation de moisissures.

La qualité des matériaux de construction utilisés, en particulier le béton, présente également des dégradations significatives, avec des conséquences sur la durabilité des bâtiments. Ces défis ont suscité la nécessité de rénover énergétiquement les immeubles collectifs d'après-guerre, mais les solutions traditionnelles de rénovation, souvent irréversibles, peuvent entraîner des problèmes futurs.

Des initiatives telles que celle d'Anne Paduart, qui propose une approche alternative basée sur des stratégies de conception réversibles, soulignent la nécessité d'une réflexion approfondie lors de la rénovation énergétique. L'ajout d'extensions, comme illustré par Lacaton & Vassal, offre une possibilité d'améliorer le confort et la performance énergétique tout en préservant la structure existante. Cependant, des études telles que le projet SUD mettent en évidence la nécessité d'évaluer attentivement l'impact énergétique de telles extensions.

En fin de compte, la rénovation énergétique des immeubles collectifs d'après-guerre est devenue une nécessité incontournable, avec des défis complexes liés à la structure existante, aux matériaux utilisés et aux attentes contemporaines en matière de confort et de durabilité. Des approches novatrices et des solutions adaptées devront être explorées pour répondre à ces défis de manière efficace et durable.

Partie 1 - Le logement social

L'histoire du logement social

Avec l'industrialisation du 19^e siècle ainsi que l'offre importante de travail dans les centres urbains, la première forme précurseur du logement social apparaît. Des conditions socio-économiques et démographiques favorisent le déplacement des populations du milieu rural vers les centres urbains. (le processus d'urbanisation en Belgique p. 87) Cette migration aussi importante demande de l'organisation, tant au niveau de l'économie que des infrastructures urbaines et résidentielles. Cependant, les centres-villes commencent au fur et à mesure à être surpeuplés. Les conditions de vie de la classe populaire sont désastreuses avec l'apparition d'épidémies dans les quartiers ouvriers. Les habitations proposées à la classe ouvrière sont décrites comme d'« immondes cloaques (Frankignoulle & Malherbe, 1994, p.36). Par conséquent, un malaise social se crée entre la bourgeoisie et les classes populaires (Gossens, 1983, p.206). C'est au cours de l'année 1886 qu'une grève est initiée par les ouvriers. Une Commission de Travail est mise en place pour assurer les bonnes conditions de travail des travailleurs (Degraeve, 2020, p.11). C'est à la fin du 19^e siècle, en 1889, que les premières mesures financières sont instaurées afin de promouvoir la propriété d'une habitation pour les classes ouvrières (DeClerck, 2004). Cependant, seuls les ouvriers pouvant obtenir un prêt ainsi que rembourser les mensualités peuvent devenir propriétaires (Degraeve, 2020, p.11). Ces maisons ouvrières s'implantent en dehors de la ville, dans les campagnes où les terrains sont moins chers. Ainsi, les centres urbains se dégorge vers les faubourgs et le milieu rural (Gossens, 1983, p.207). Les voies de communication telles que les chemins de fer jouent un rôle très important à cette époque, afin d'assurer la connexion des centres-ville et des périphéries (Eggerickx & Poulain, 1990, p.90).

C'est au lendemain de la Première Guerre mondiale qu'une grande pénurie de biens ainsi qu'une rupture de l'équilibre social se fait sentir (Gossens, 1983, p.209). Suite aux bombardements de la guerre 14-18, beaucoup de logements sont détruits (Frankignoulle & Malherbe, 1994, p.39). En réponse à cette pénurie, les autorités s'engagent à construire des logements bon marché. Ces derniers sont assurés par la S.N.H.L.B.M[1], qui prend en charge « un financement à grande échelle d'une architecture locative », permettant la procuration d'un logement à prix abordable aux classes sociales qui sont dans le besoin (Frankignoulle & Malherbe, 1994, p.77). Cependant, l'impact du secteur locatif sur le parc immobilier belge reste limité. L'attention se porte plus sur la construction de propriétés privées, stimulées par des subventions.

C'est à partir de 1925, avec la dévalorisation du franc belge, au cours des « années folles », que le commerce ainsi que l'industrie se remettent sur pieds. L'économie est en plein essor et l'élite profite de la vie d'après-guerre jusqu'à ce que le krach boursier

américain, en 1929, vient mettre fin à ce nouvel élan. L'Europe, plongée dans une crise économique, connaît des années très sombres et l'économie ne se redresse que très lentement. La crise des années 30 connaît une diminution du pouvoir d'achat de la population ainsi qu'une pénurie financière des autorités, entraînant une baisse de construction de logements sur le territoire belge.

La Deuxième Guerre mondiale a un véritable impact sur le secteur de la construction. De nombreux chantiers sont arrêtés à la suite des bombardements. Par conséquent, de multiples bâtiments sont détruits. Le pays est plongé comme lors de la Première Guerre mondiale dans une pénurie de logements: on compte plus de 140.000 habitations détruites ou invivables après la guerre (Turkington, 2004). Au lendemain de la guerre, le « babyboom » renforce la demande d'habitations du parc immobilier européen et pousse ainsi l'État belge à agir. La volonté de reconstruction ainsi que l'aide apportée par les capitaux étrangers créent un climat économique et social favorable en Belgique. Dans le but de pouvoir construire les logements manquants, des aides financières sont attribuées au gouvernement belge de la part des fonds privés et de l'État et de la Communauté européenne du Charbon et de l'Acier. Cependant, au vu des idées divergentes entre le parti politique catholique et les socialistes, l'élaboration d'une politique belge du logement met du temps à s'établir. Effectivement, deux lois discordantes sont mises en place : la loi de Taeye et la loi de Brunfaut (Degraeve, 2020, p.15). Contrairement à d'autres pays européens, optant pour le logement social pour reconstruire les logements détruits par la guerre, la Belgique promeut l'accès à la propriété individuelle tout en diminuant les subventions pour le logement social en adoptant la loi de Taeye. Elle a eu une influence globale sur le développement urbain en Belgique jusqu'en 1990 (Declerck, 2004 et De Naeyer, 2007). Effectivement, la disponibilité de terrains à construire à l'extérieur du centre-ville entraîne le phénomène de périurbanisation (Eggerickx & Poulain, 1990, p.90). Les limites de la ville sont repoussées. Durant les 50 dernières années, le chiffre représentant les propriétaires occupants en Belgique a connu une augmentation de 26%, passant de 39 à 65%, au détriment du secteur du logement social (DeClerck, 2004).

Or, la loi de Brunfaut de 1949 permet de créer le Fonds national du logement, assurant le financement de la construction des immeubles sociaux et des infrastructures collectives (Degraeve, 2020, p.15).

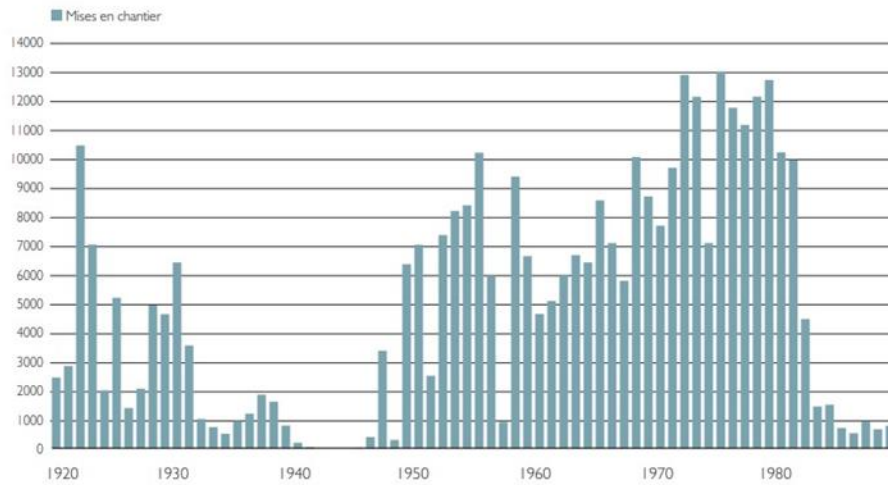


Fig. 13 - Nombre d'habitations sociales mises en chantier annuellement
 Source : Les échos du logement, 2020

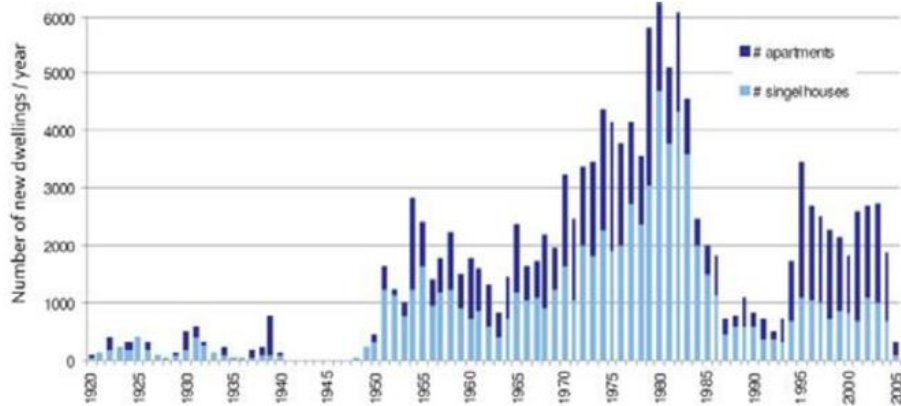


Fig. 14 - Evolution de construction de logements sociaux en Belgique (1920-2005)
 Source : Anne Paduart, 2012

Les années de reconstruction présentent une grande période moderniste. La construction de taudis est remplacée par l'architecture standard et préfabriquée (Frankignoulle & Malherbe, 1994). L'industrialisation massive, le fonctionnalisme, le beau linéaire ainsi que l'hygiène sont des composants de l'architecture des années 50. Ces innovations techniques jouent un rôle crucial dans l'évolution des immeubles d'appartements (fig.15). Ce modèle progressiste découle des Congrès internationaux d'Architecture moderne en 1930 à Bruxelles (Van Dijk, 2006, p.14). Les premiers bâtiments en hauteur s'installent, se caractérisant par un espace habitable minimal avec un rendement maximal. Jacques Mariau (Frankignoulle & Malherbe, 1994) décrit le logement social comme le « fruit du croisement entre la rationalité économique et les relents des théories hygiénistes, devient l'endroit où peut s'épanouir l'homo economicus ». Le premier choc pétrolier en 1973 ainsi que la fédéralisation de la Belgique, approfondie dans les années 1980, conduisent à l'effondrement de la construction de logements sociaux (fig.14). Cette période marque la fin de l'élaboration de grands immeubles de logements. Selon la source Statbel, entre 1946 et 1981, la commune de Liège a connu un gain de près de 1694 immeubles d'appartements au cours d'une trentaine d'années.

Analyse typologique des logements collectifs des immeubles d'après-guerre

Ce chapitre sera consacré à l'analyse des types d'immeubles collectifs de logements sociaux d'après-guerre. Les aspects suivants seront étudiés car ils peuvent influencer le potentiel de réorganisation et de réhabilitation ainsi que les solutions de rénovation énergétique : l'organisation spatiale, la structure portante, les techniques de construction .

De fait, lors de la phase de construction de l'ensemble des bâtiments, de nombreux paramètres ont été fixés et sont par conséquent difficilement modifiables ou adaptables. Ces éléments « figés » rendent les opérations de rénovation plus complexes à mettre en œuvre. Il est donc intéressant d'analyser la flexibilité des immeubles de logements collectifs d'après-guerre afin de mettre en avant tant les freins que les opportunités offertes par ces types de bâtiment pour l'amélioration de leur qualité tant au niveau de l'habiter qu'au niveau énergétique.

La flexibilité spatiale

Selon la définition de l'encyclopédie Larousse, la flexibilité spatiale correspond à l'« (Arch.) Aptitude d'un espace construit à se plier à une utilisation évolutive ou différente ». La norme NBN ISO 20887 définit l'adaptabilité comme « l'aptitude à être changé ou modifié pour s'adapter à une utilisation particulière ». Ainsi, les bâtiments flexibles sont conçus pour être adaptables au fil du temps. Aujourd'hui, le concept de la flexibilité spatiale joue un rôle important dans la rénovation des bâtiments, plus spécifiquement dans le secteur du logement social. De fait, la possibilité de réorganiser les espaces selon leur utilité et leur configuration offre de nombreux choix tant aux locataires qu'aux propriétaires des immeubles de logements. Deux types de flexibilité peuvent être mis en avant : la « flexibilité interne » et la « flexibilité externe ».

Dans un immeuble de logements, la « flexibilité interne » correspond au cloisonnement spatial, permettant de diviser l'intérieur de l'espace du logement en typologies d'appartements adaptées aux besoins des habitants. En revanche, la « flexibilité externe » d'un bâtiment représente les possibilités de modifications de l'enveloppe.

On peut donc y citer le remplacement de l'enveloppe complète, l'adjonction de balcons, l'extension de l'immeuble ou encore la surélévation d'un étage du bâtiment.

La flexibilité spatiale dans les immeubles de logements d'après-guerre

Certains éléments composant les immeubles de logements ont un impact sur la flexibilité spatiale des appartements. Il s'agit de la *structure porteuse*, de la *circulation horizontale* et *verticale* ainsi que des *techniques liées aux diverses fonctions*.

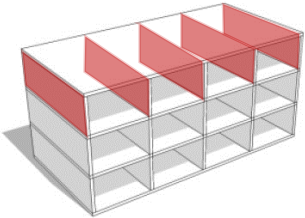

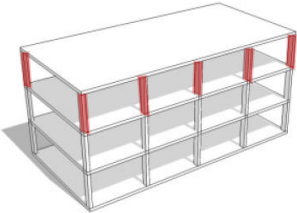

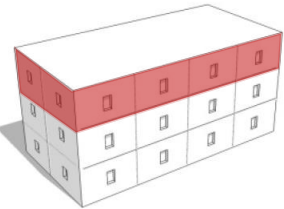

La structure porteuse

Selon le Larousse en ligne, la structure porteuse d'un bâtiment peut être définie comme suit : « Constitution, disposition et assemblage des éléments d'un bâtiment, et plus spécialement des éléments actifs qui forment son ossature » (n.d). Par conséquent, cette dernière est fixe, immuable et impose des limitations dans la modernisation des immeubles.

Les immeubles d'après-guerre ont connu un réel changement au niveau des techniques de construction. Effectivement, avec le modernisme et l'introduction des barres de logements est apparue une architecture industrialisée et standardisée en béton, laissant derrière elle une architecture traditionnelle de maçonnerie. Du fait de

l'augmentation de la hauteur des bâtiments, la maçonnerie de briques et/ou de blocs n'était plus adaptée pour recevoir les charges de l'ensemble des étages. Par conséquent, les architectes se sont tournés vers les murs transversaux, longitudinaux et les étauçons pour concevoir les différents projets (Schmitt, 1964).

Au fil du temps, trois catégories de structures porteuses ont été mises en évidence dans les immeubles d'après-guerre : la *structure à murs transversaux*, la *structure à ossature* et finalement la *structure à panneaux*.

<p>Structure à parois transversales</p>	  <p><i>Fig. 15 - Wooncomplex Jos Van Geelaan</i> Source : Inventaris Onroerend Erfoed</p>	<p>La structure à parois transversales porteuses est enveloppée par des panneaux semi-préfabriqués au niveau des façades. Les parois séparant les différents espaces sont non-porteuses. Ce type de structure se définit par une flexibilité horizontale longitudinale qui se voit limitée à cause des murs porteurs répartis sur l'ensemble du plan horizontal. Seuls les différents modules formés par la structure permettent un plan libre. On parle alors ici de flexibilité transversale. Ainsi, cette typologie de structure ne permet pas beaucoup de changement au niveau de l'organisation de l'immeuble. Certains bâtiments à parois transversales se composent d'une multitude de duplex, qui autorisent dans ce cas un degré de flexibilité verticale très important.</p>
<p>Structure à ossature</p>	  <p><i>Fig. 16 - Bâtiment Sterrenveld</i> Source : Lehr</p>	<p>L'assemblage de poutre-colonnes-plancher compose la structure porteuse. Comme pour la structure à parois transversales, l'ossature est recouverte par des façades faites en panneaux semi-fabriqués. Les parois séparant les différents espaces sont non-porteuses. Cette typologie de structure ne présente pas de grands éléments porteurs dans le plan. De ce fait, la structure à ossature se caractérise par une flexibilité très élevée à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment. Néanmoins, des éléments porteurs ponctuels peuvent se glisser dans les espaces et ainsi présenter un obstacle. Il peut s'agir des circulations, des éléments supplémentaires afin d'assurer la stabilité du bâtiment, etc.</p>
<p>Structure à panneaux</p>	  <p><i>Fig. 17 - Tour de la plaine de Droixhe</i> Source : Photo prise par l'autrice</p>	<p>La structure à panneaux est une combinaison d'une structure à ossature avec des façades en panneaux semi-préfabriqués porteurs ou coulées sur place en béton armé. Ne pouvant pas toucher aux façades porteuses, la flexibilité de ces bâtiments est très faible et peut poser des problèmes lorsqu'on entreprend une rénovation. De fait, seules les ouvertures peuvent être changées lors des travaux de rénovation. Or, afin d'atteindre des les normes énergétiques, la façade va bénéficier d'une isolation à l'extérieur ou à l'intérieur. Ceci peut donc mener à des problèmes d'humidité dans le bâtiment parce que les façades ne peuvent pas être échangées par des parois énergétiquement plus performantes. Néanmoins, les espaces à l'intérieur des façades sont vierges d'éléments porteurs, ce qui permet une flexibilité assez élevée. L'organisation est ainsi plus libre.</p>

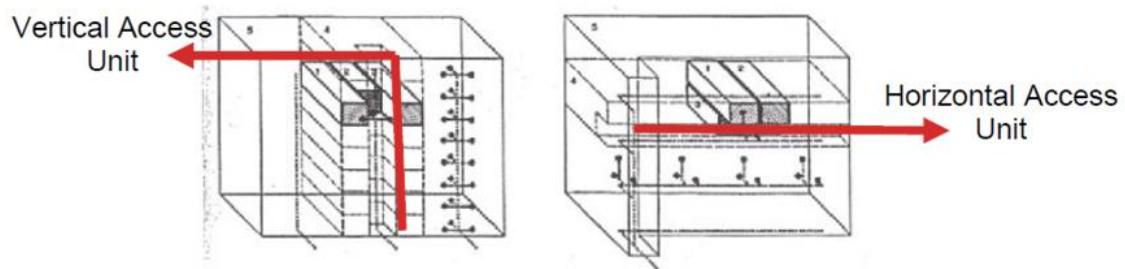


Fig. 18 - Circulation verticale et horizontale
 Source : Albostan, 2009

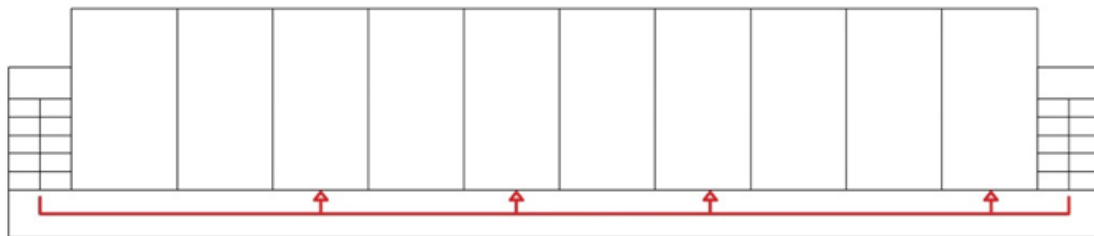


Fig. 19 - Accès horizontal aux différents logements
 Source : Dessin réalisé par l'autrice

Schneider (2003, p.32) met en évidence l'importance de la position ainsi que le type de la circulation comme suit « *(a) typology of housing structures can be classifying them according to the access branches onto which the associated apartment groups are tied in and the position of these branches in the building* ».

Afin de permettre aux habitants d'accéder à leur logement, on distingue deux typologies de systèmes de circulation (fig.19) : la *circulation verticale*, qui distribue l'ensemble des étages et la *circulation horizontale*, qui permet un accès à chaque résidence individuelle. La combinaison des deux types de circulation permet de définir le degré de flexibilité à l'intérieur des bâtiments (Paduart, 2012).

La circulation verticale

La circulation verticale peut être soit intégrée dans la structure porteuse et donc ainsi participer à la stabilité du bâtiment ou alors elle peut être une partie autonome du bâtiment. Elle peut connaître trois positionnements différents : au *centre*, *latéralement* ou à *l'extérieur* par rapport à l'axe latéral ou longitudinal du bâtiment. Globalement, il est préférable de ne pas intervenir ou très peu au niveau des circulations verticales, car celles-ci peuvent contribuer à la stabilité du bâtiment (structure à ossature). Ainsi, changer l'organisation d'une circulation verticale a un coût important de main-d'œuvre, de matériaux et la production de déchets et non négligeable.

La position de la circulation verticale a une influence significative sur la circulation horizontale qui permet d'assurer l'accès aux différentes unités de logement d'un immeuble (fig.20). C'est pourquoi la circulation centralisée permet de distribuer l'ensemble des logements d'un même étage en utilisant très peu de couloirs. La circulation positionnée à l'extérieur en revanche nécessite des distributions plus longues pour permettre l'accès aux différentes habitations.

La circulation horizontale

La circulation horizontale joue un rôle très important dans le choix de la typologie des logements. L'entrée des appartements individuels peut soit se placer de manière *groupée*, c'est-à-dire autour d'un hall collectif ou alors de manière *linéaire*, à l'aide de couloirs et de coursives.

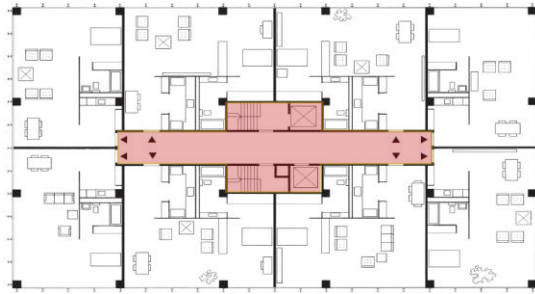


Fig. 20 - Plan avec circulation centrale
Source : Floor Plan Manual Housing

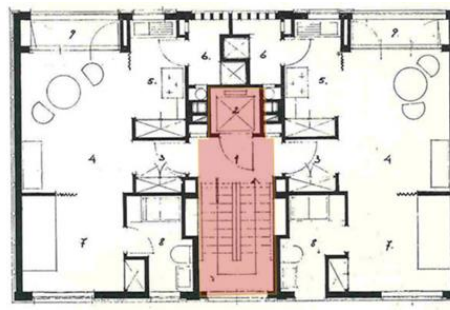


Fig. 21 - Plan avec circulation latérale
Source : Floor Plan Manual Housing



Fig. 22 - Plan avec couloir intérieur
Source : DocPlayer.nl

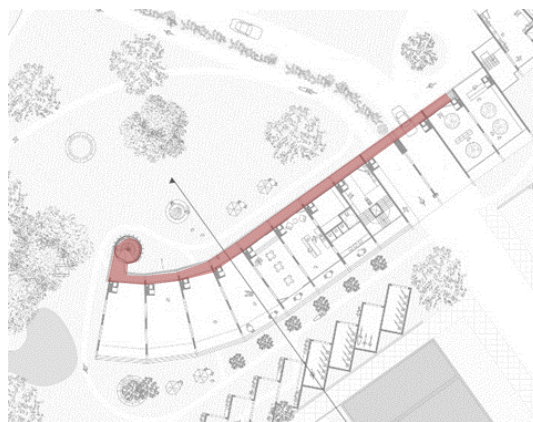


Fig. 23 - Plan coursive extérieure
Source : Dijkledal Goed Wonen, 2010

La circulation horizontale groupée

Il existe différentes typologies de logements selon l'accès horizontal.

Typologie des paliers

Ce type de distribution est souvent utilisé dans les structures à ossature. Un hall collectif permet à chaque habitant d'accéder à son logement. Au vu de la circulation centralisée, peu d'espace est perdu pour les couloirs. Il en résulte des logements profitant d'une orientation double ou simple selon l'emplacement.

Typologie du porche ou hall d'entrée

Il s'agit de la typologie de distribution la plus ancienne, ayant été utilisée principalement avant la Deuxième Guerre mondiale. Elle était utilisée majoritairement dans des immeubles collectifs de quelques étages, insérés dans le bâti urbain existant (fig.21&fig.22).

Typologie des couloirs de circulation internes

Les couloirs internes ont été conçus afin de réduire au maximum les coûts de la construction des immeubles. De fait, un escalier et un ascenseur permettent de distribuer l'ensemble des logements à l'aide d'un long couloir sombre et non ventilé. Il en résulte des appartements à orientation unique. Le niveau de confort de ces habitations est moindre, mais acceptable sous certaines conditions. Une variante de ce type de circulation a vu le jour sous la forme d'un immeuble composé de logements sur deux étages, des duplex. Les plans ci-dessous montrent l'organisation d'un logement duplex dans un bâtiment de logements à Sint-Maartensdal en Belgique (fig.23).

Typologie de galerie extérieure ou coursive

Les coursives extérieures ont permis d'améliorer davantage le confort et la qualité de vie à l'intérieur des logements. Avec la projection des couloirs intérieurs au niveau de la façade, les différents espaces des habitations profitent dès lors d'une double orientation permettant un apport solaire plus important. Cependant, afin de pouvoir

accéder à son logement, le passage devant d'autres appartements est obligatoire et met ainsi l'intimité des habitations à l'épreuve (fig.24).

	horizontal circulation	typology	apartment typology	example
clustered access	central		landing type	
			porch type	
linear access	central		internal corridor	
			external gallery	
	external			
				A. Paduart

Fig. 24 - Tableau récapitulatif des types de circulations
 Source : Anne Paduart, 2012

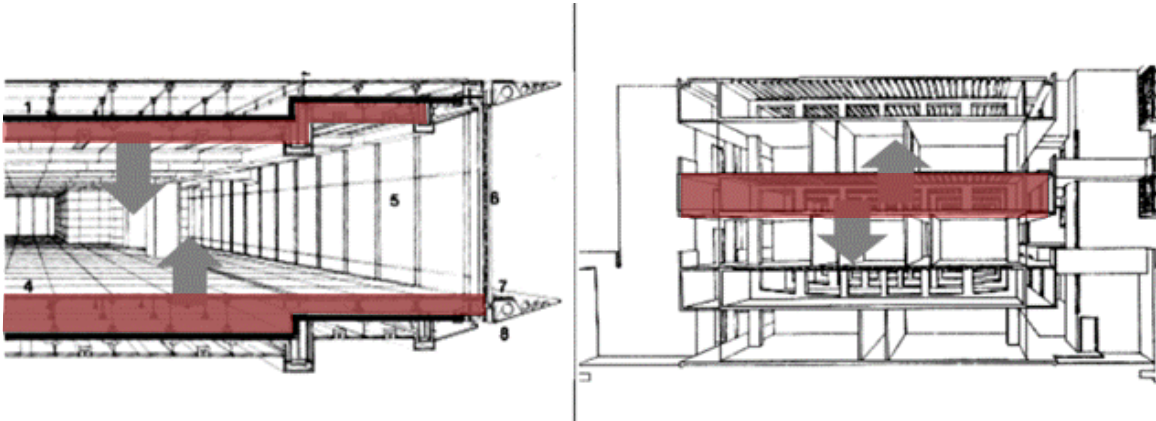


Fig. 25 - Un réseau de cavités techniques
 Source : Darteville, 2022

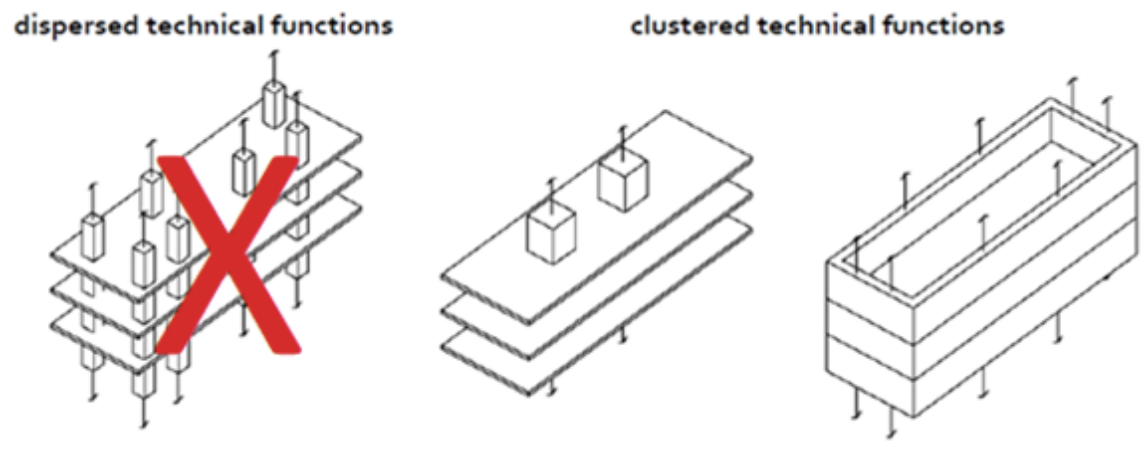


Fig. 26 - Positionnement des gaines techniques
 Source : Anne Paduart, 2012

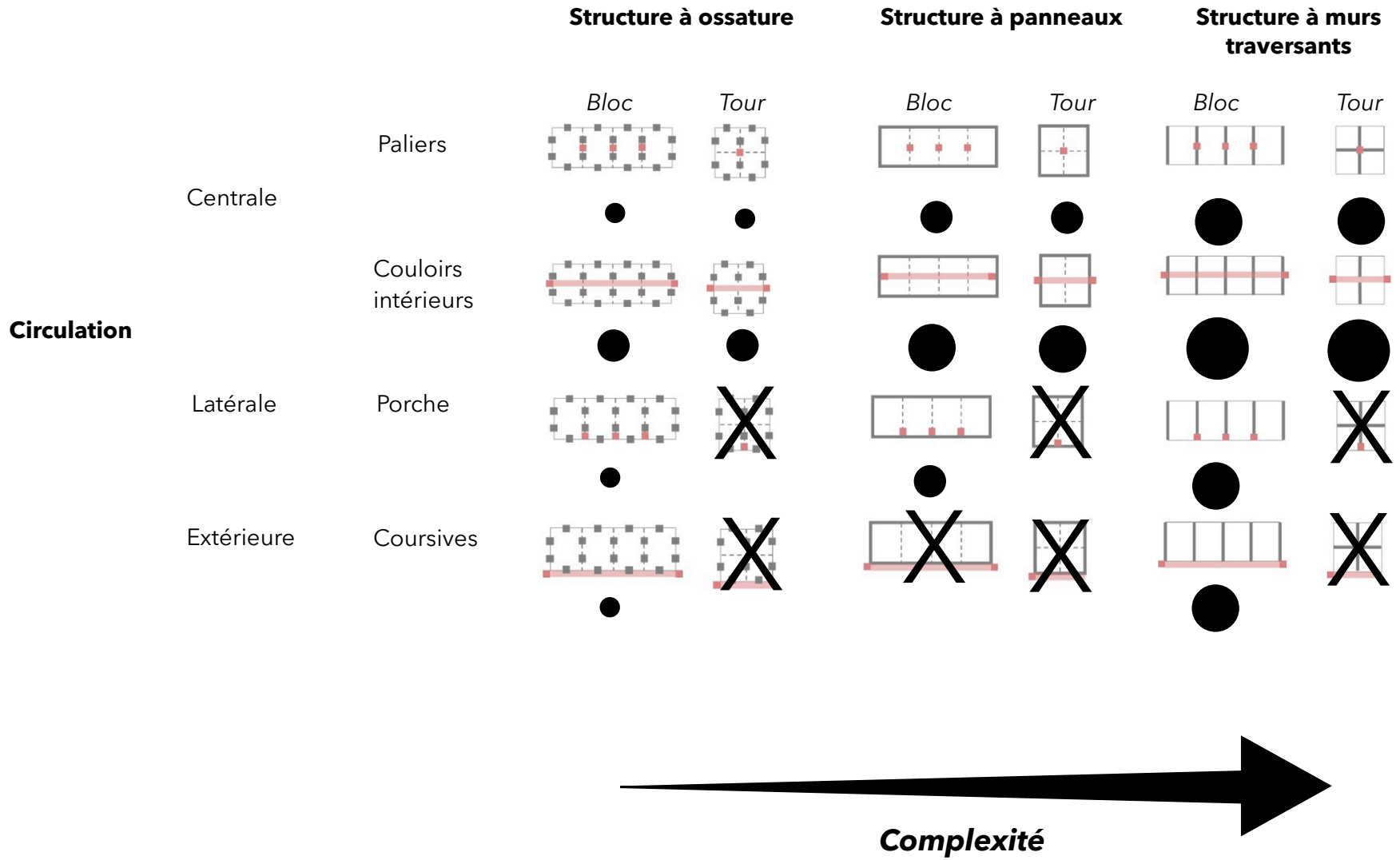
Installation techniques liées aux différentes fonctions

Le développement des systèmes techniques comme la ventilation se fait de façon très rapide après la Seconde Guerre mondiale. De fait, ce qui n'est plus aux normes aujourd'hui était antérieurement un concept ayant connu un véritable succès. Il en est de même pour les différentes techniques qui ont été installées au cours des années 60 dans les immeubles de logements sociaux (Paduart, 2012, p.136). Ces éléments techniques, s'ils ont considérablement amélioré la qualité de vie des différents locataires, sont aujourd'hui devenus obsolètes avec l'évolution des normes et des standards de confort et d'efficacité énergétique.

Il existe différentes manières de positionner les diverses installations techniques dans les immeubles afin d'assurer une flexibilité technique importante ou non. D'après les explications d'Olivier Dartevelle (2022), l'organisation des installations techniques se fait à travers des nappes et des trémies (fig.26). En effet, la récolte ainsi que la diffusion des différents conduits se fait à travers des transferts horizontaux, des nappes. En revanche, les transferts verticaux entre les nappes sont assurés par les trémies. Encastrées, les nappes et trémies les rend inaccessibles, ce qui n'est pas recommandé afin de pouvoir assurer l'entretien ainsi que la maintenance des systèmes techniques. Assurer l'accessibilité par une ouverture partielle ou le démontage de parois est alors préférable (Dartevelle, 2022).

De plus, le positionnement aléatoire des gaines techniques sur le plan d'un étage est moins flexible que le regroupement des techniques dans un seul élément central. Le principe de l'emplacement du noyau technique au centre permet également d'assurer un accès facilement afin d'effectuer des mises à jour si besoin (Albostan, 2009). En cas de problème, il n'est donc pas nécessaire dans de rentrer dans tous les logements. En outre, le principe de prévoir les techniques au niveau de l'ensemble de l'enveloppe permet également un accès facile (fig.27).

Tableau récapitulatif : Complexité de la réorganisation des espaces suivant le type de circulation



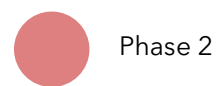
Partie 2 - Droixhe



Fig. 27 - Vue satellite de la plaine de Droixhe
Source : WalonMap



Phase 1



Phase 2

Contexte géographique

La cité de Droixhe est construite après la Deuxième Guerre mondiale afin de répondre à une pénurie de logements sur le territoire liégeois et belge. La Maison Liégeoise cherche à obtenir des terrains afin de pouvoir répondre à ce manque. C'est en 1953 que la société coopérative arrive à s'approprier l'ancien champ de manœuvres à Bressoux afin d'y planifier l'implantation de 13 bâtiments de logements regroupant 1.800 appartements. Positionné sur la rive droite de la Meuse, ce terrain présente un grand potentiel. Il se trouve à un endroit privilégié, à environ trois kilomètres du centre-ville de Liège. De plus, les 17.95 hectares sont bien desservis par un réseau routier déjà établi.

Le projet

La Maison Liégeoise organise un concours d'architecture afin de construire des bâtiments de logements sociaux sur la plaine de Droixhe. Le groupe EGAU remporte ce concours en 1950 en s'inspirant de la Charte d'Athènes pour la construction des bâtiments résidentiels tout en mettant en place des équipements techniques (Frankignoulle & Malherbe, 1994). Les architectes proposent à chaque logement un espace égal et confortable tout en assurant une orientation nord-sud pour un apport de soleil maximal. La concentration d'habitations ainsi que la construction préfabriquée avec répétition de composants constructifs permettent de faire baisser les coûts du projet (Frankignoulle & Malherbe, 1994). Le groupe EGAU exerce une forte influence sur le courant moderne d'après-guerre liégeois. Ainsi, selon Alain Malherbe (1994), « Droixhe est un archétype de la cité moderniste en hauteur ».

L'élaboration du domaine de Droixhe se déroule sur 25 ans, débutant en 1954 et s'achevant en 1979. Une première phase de construction de 5 immeubles de logements commence fin 1954 dans le secteur Georges Truffaut. Ensuite, c'est le secteur Chainaye-Miche-Libération qui est érigé ainsi que l'immeuble 16 Avenue de Lille. La première partie de construction de la cité de Droixhe se clôture en 1957. Les travaux du complexe social débutent en 1958 et prennent fin en 1968. Ensuite se poursuit la deuxième étape d'édification de logements en 1965 dans le secteur de la Croix Rouge avec la construction de 5 autres bâtiments. Les travaux prennent fin en 1979 avec l'élaboration de l'immeuble 15, la tour Match (Delhez, 2022) (fig.28).

Que devient Droixhe aujourd'hui ?

La plaine de Droixhe est unique en son genre étant donné le travail de conception illustrant les principes urbanistiques des CIAM, et la construction de logements sociaux caractérisée par le modernisme (Frankignoulle & Stevens, 2002, p.46). Cependant, depuis les années 80, le mot « *ghetto* » est lié au quartier de Droixhe, donnant de ce dernier une image de « *cité difficile* ». Selon Pierre Frankignoulle et Barbara Stevens (2002), « *Droixhe souffre d'une réputation très négative (...).* »

  la fin de la construction des immeubles de logements à Droixhe, les habitations sont fortement demandées par une population socioprofessionnelle très diversifiée (Crappe, 1962). Les équipements urbains ainsi que les espaces verts font de la plaine de Droixhe un lieu recherché. De plus, les logements connaissent un énorme succès et ce grâce aux nouveaux équipements. Dans chaque appartement est installée une salle de bains alors qu'en 1947, seulement 7% des ménages totaux en disposent. L'installation d'un système de chauffage central permet également de chauffer l'ensemble du bâtiment et des logements. Ce niveau de confort est encore peu connu/vécu à l'époque de l'édification de la cité de Droixhe renvoyant ainsi à la population locale, une image d'logements agréables à vivre (Frankignoulle, 2009).

Durant les années 80, la situation et la perception de la cité de Droixhe prennent un tournant défavorable, et ce, pour diverses raisons. La première est, selon Schroombrodt, le sentiment d'exclusion malgré sa proximité avec le centre-ville de Li ge. Le tissu ponctuel formé par les différentes tours de Droixhe crée une « discontinuité urbanistique ». De plus, les immeubles érigés présentent une rupture d'échelle avec les bâtiments du voisinage. La seconde raison est en lien avec les réglementations sur le logement social, introduites en 1980. Désormais, les familles plus aisées préfèrent quitter la plaine de Droixhe et se mettre à l'abri par peur de voir les loyers augmenter de manière spectaculaire. Ils vont alors s'installer soit dans leur propre bien, soit devenir locataire privé. Les logements vides sont alors loués aux familles immigrantes (Lepoutre et al., 2015, p.24). Le fonctionnalisme des années 60, autrefois signe de progrès, commence à montrer de premiers signes de dysfonctionnement. De fait, l'entretien ainsi que le coût de l'énergie deviennent davantage importants (La Maison Liégeoise, 1996).

Une requalification de l'ensemble du quartier de Droixhe est envisagée afin de revaloriser l'image d'une cité offrant autrefois une grande qualité architecturale et urbanistique.

Les modifications architecturales du projet de requalification de Droixhe

« Si le terme requalification a été choisi, c'est parce qu'il englobait une action beaucoup plus étendue que celle portant sur la seule rénovation physique du bâti, cette dernière étant évidemment aussi nécessaire pour des immeubles d'une quarantaine d'années. Il s'agissait de travailler sur les espaces publics, la vie associative, le tissu économique. Finalement, l'opération devrait conduire à une requalification de l'image du quartier, avant tout, pour et par les habitants eux-mêmes, qui ont intériorisé les stéréotypes négatifs véhiculés par les médias. » (Frankignoulle, 2009, p.43).

Aujourd'hui, l'image de Droixhe est très négative. La relégation sociale ainsi que les nombreuses dégradations présentes au niveau des bâtiments de logements font qu'une intervention sur l'ensemble du quartier est indispensable.

En réponse aux différents problèmes, les pouvoirs publics prennent conscience du devenir négatif du quartier wallon. Avec l'aide de la Région wallonne ainsi que de la Maison Liégeoise, la ville de Liège compte avec le projet de requalification rendre une image positive à Droixhe. Afin de résoudre au mieux les différents problèmes identifiés, le quartier est délimité en 3 secteurs : le secteur *Truffaut-Libération*, le secteur *« Avenue de la Croix-Rouge »* et finalement le secteur qui reprend le reste des bâtiments (Vicenzot, 2010).

En 1998, la société Atlas lance le concours d'architecture afin de sélectionner les acteurs qui vont entreprendre les travaux de rénovation du secteur Truffaut-Libération, premier à être requalifié, et Croix-Rouge, le second (Dethier, 2012, p. 367). C'est le bureau liégeois Dethier et associés qui est retenu pour le secteur Truffaut-Libération et pour le secteur Croix-Rouge il s'agit d'une association temporaire *« Castro-Droixhe 2005 »*.



1971



2006



2012

2015



2019



2021





Fig. 28 - Pied d'un immeuble à Droixhe
Source : Photo prise par l'autrice



Fig. 29 - Barre de logements à Droixhe
Source : Photo prise par l'autrice

Le secteur Truffaut-Libération

Le secteur Truffaut-Libération se compose de 6 immeubles avec 435 logements au total. L'ensemble des bâtiments vont bénéficier d'une rénovation légère au niveau des espaces communs, des appartements ainsi que de l'enveloppe. Il s'agit de travaux, débutant en 2003, de remise à niveau de l'ensemble des logements au confort contemporain et de travaux d'ordre purement technique.

Les espaces partagés vont profiter de l'installation de nouveaux ascenseurs et d'un rafraichissement des escaliers, murs et plafonds. En ce qui concerne les appartements, le remplacement des équipements sanitaires (lavabos, éviers, toilettes,...) est entrepris. En outre, les châssis, le système d'électricité et celui du chauffage sont changés par des éléments plus performants et d'actualité. Afin de rendre les immeubles conformes aux normes énergétiques des années 2000, une isolation plus performante avec la mise en œuvre par l'extérieur est choisie (fig.29 & fig.30). Cette dernière est revêtue de panneaux de céramiques, permettant l'esthétisation des façades (Frankignoulle et al., 2004).

L'ensemble des travaux est réalisé « en site occupé ». Cela signifie que les habitants peuvent continuer à vivre dans leur logement malgré les différentes opérations de rénovation. Une équipe de soutien est mise à disposition à l'ensemble des locataires le temps de la durée des travaux.

Le secteur « Avenue de la Croix-Rouge »

Le secteur de l'« Avenue de la Croix-Rouge » a connu une série de transformations significatives. Les cinq bâtiments d'origine ont été soumis à une rénovation complète, caractérisée par une dé-densification visant à réduire la hauteur des structures et, par conséquent, le nombre de logements.

Suite au concours initié en 1998, deux propositions de projets ont été retenues : le projet Droixhe 2005 et celui de Castro-Denissof. Dans cette optique, les deux entités ont collaboré pour former le projet Castro-Droixhe 2005. Bien que les habitants aient progressivement commencé à quitter les cinq barres de logements, le projet Castro n'a jamais été concrétisé en raison de dettes contractées par la Maison Liégeoise. La démolition de la première tour du secteur Croix-Rouge a eu lieu en octobre 2009, marquant le début d'un processus qui s'est achevé en juin 2010, donnant ainsi lieu à la création d'une maison de repos et de nouveaux immeubles d'appartements quelques années plus tard (Vicenzot, 2010).

Partie 3 - Le cas d'étude

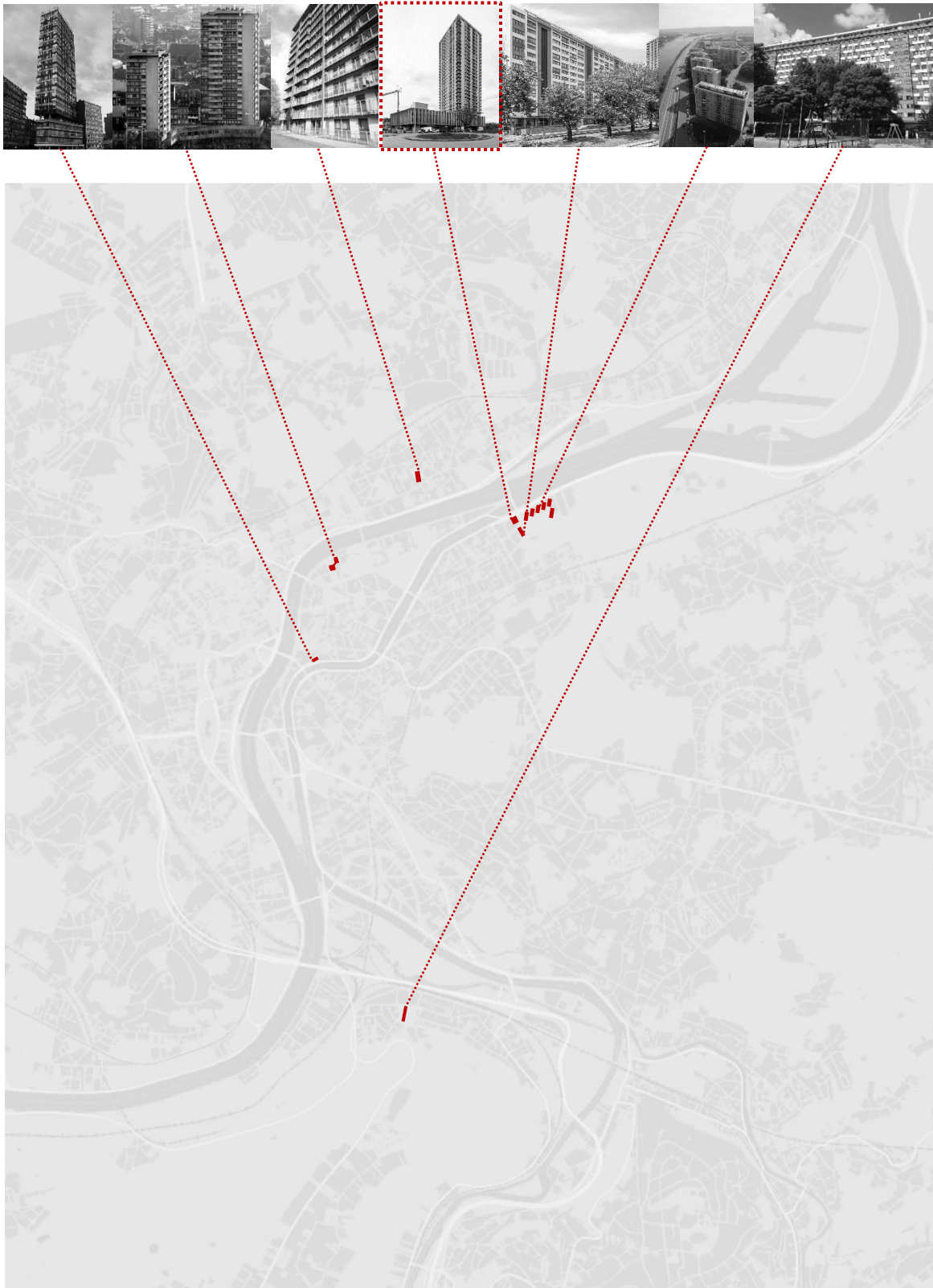


Fig. 30 - Carte de Liège reprenant les grands ensembles d'après-guerre
Source : Carte réalisée par l'autrice

Choix du cas d'étude

Méthodologie

Le processus de sélection du cas d'étude pour ce travail a suivi une démarche méthodique, prenant en compte divers critères pour assurer une pertinence académique et une facilité de recherche.

La typologie de l'immeuble - L'étape initiale s'est concentrée sur la typologie du bâtiment, privilégiant les immeubles de logements collectifs d'après-guerre. Cette spécification a été établie en raison de la singularité des techniques de construction employées à cette époque, ce qui offre une perspective particulière pour l'étude.

La localisation du cas d'étude - Par ailleurs, l'implantation géographique a été déterminante dans le processus de sélection. Le cas d'étude a été choisi en Belgique, idéalement à proximité de Liège, afin de faciliter l'accès aux visites sur le terrain. Cette localisation stratégique permet d'optimiser les observations in situ et de garantir une collecte de données exhaustive.

La présence d'extensions - Le troisième critère s'est concentré sur l'évaluation de la présence d'extensions sur le site retenu. Cette considération s'avère cruciale, car l'existence de balcons, terrasses etc. peut influencer significativement les paramètres analysés dans le cadre de la recherche.

Des travaux de rénovation énergétique préalables - Une autre étape importante a été l'élimination des options ayant fait l'objet de rénovations énergétiques majeures, privilégiant ainsi les cas d'étude présentant soit une absence de rénovation énergétique préalable, soit des rénovations minimales. Cette décision a été prise afin d'assurer une cohérence dans l'analyse des performances énergétiques et de permettre une meilleure compréhension des dynamiques liées à la consommation énergétique.

La documentation disponible - Enfin, la disponibilité de documentation détaillée, telle que des plans et des coupes, a été un critère déterminant. Cette documentation fournit la base nécessaire pour mener des recherches approfondies, en assurant une compréhension approfondie de la structure et des caractéristiques du bâtiment choisi.

Le choix du cas d'étude a été méticuleux, alignant les critères avec les objectifs du travail de fin d'études et garantissant une approche rigoureuse et méthodique pour mener à bien la recherche.

Dans le cadre de la démarche de sélection du cas d'étude pour mon travail de fin d'études, j'ai entrepris une analyse approfondie des grands ensembles modernistes autour de Liège. Parmi les options envisagées, citons de gauche à droite sur les photos : la résidence Georges Simenon, la tour du quai des Tanneurs, la barre de la rue Franchimontois, la tour Atlas, la cité de Droixhe, et le bâtiment du centre Angleur.

La première étape consistait à appliquer les critères préalablement énoncés. Certains bâtiments ont été écartés de la sélection en raison de l'absence d'extensions au niveau des façades, comme c'est le cas de la résidence Georges Simenon. Par ailleurs, d'autres édifices avaient déjà bénéficié d'une rénovation énergétique de leur enveloppe, incluant la barre de la rue Franchimontois, certains bâtiments de la Cité moderne de Droixhe, ainsi que le bâtiment du Centre Angleur.

Au terme de cette première phase, seules la tour du quai des Tanneurs et la tour Atlas répondaient pleinement aux critères définis. Le choix final s'est orienté vers la tour Atlas, motivé par une observation sur place lors de la première visite. Les balcons de faible profondeur de la tour semblaient représenter un point de départ prometteur pour améliorer la qualité de vie des résidents. Cette caractéristique particulière a renforcé la pertinence de la tour Atlas comme cas d'étude, alignant ainsi le choix sur les objectifs du travail de fin d'études.



Fig. 31 - Construction de la tour Match

Source : Photo issue du bulletin annuel de 1976 de La Maison Liégeoise

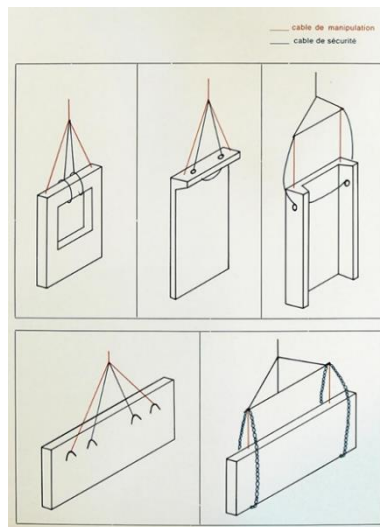


Fig. 32 - Eléments structurels préfabriqués

Source : Post-war building materials in housing in brussels 1945-1975, 2015

La tour Atlas

Construction de la tour Match

À l'encontre de l'avenue Georges Truffaut et de l'avenue de Lille prends place entre 1971 et 1976 la tour « Match » ou encore de la tour carrée (Charlier, 2014). Cette dernière a été imaginée par le groupe d'architectes EGAU, ayant réalisé l'entièreté des bâtiments de la cité de Droixhe et regroupe 144 appartements (fig.32).

Au départ, sur la parcelle où s'implante actuellement la tour Match, sont prévus deux bâtiments identiques. Cependant, cette idée est aussitôt rejetée à cause de problèmes financiers et une seule et unique construction en hauteur voit le jour. Cette dernière se constitue majoritairement de logements excepté au rez-de-chaussée qui voit l'installation d'une surface commerciale desservant le quartier. Néanmoins, rapidement, les architectes se rendent compte de la place qu'occupe la voiture dans la société des années 70.² Afin que les habitants de la tour puissent stationner leur véhicule à proximité de leur appartement, un parking de deux étages vient envelopper le socle du bâtiment. L'ajout du parc de stationnement appauvrit malheureusement l'entrée principale des logements (Vicenzot, 2010).

Modifications qui ont été entreprises...

La tour Match n'a fait l'objet d'aucune rénovation énergétique comme les immeubles du secteur Truffaut-Libération. Cette tour n'a pas encore subi d'opération de rénovation et présente de multiples problèmes tant au niveau de son enveloppe qu'au niveau des espaces intérieurs. On peut notamment citer des vitrages d'origine non conformes aux normes énergétiques actuelles, des balcons non exploitables et actuellement habités par les pigeons, des dégradations dans certains logements, mais également la mauvaise gestion du système de ventilation naturelle et ainsi de suite.

Cependant, des travaux d'aménagement ainsi que de sécurisation ont été engagés par les autorités afin de poursuivre la requalification du quartier de Droixhe. Le bureau d'architecture Biemar&Biemar, chargé de mener à bien cette mission, décrit davantage les différents travaux qui sont entrepris comme « (...) un réaménagement complet de l'entrée (...) qui lui sera uniquement dédiée aux gens des appartements à 100% privé et il y aura un aménagement sur le quai d'une nouvelle entrée qui distribuera des asbl

² Les années 1950-1975 ont connu un essor très rapide de l'automobile en Europe (au rythme moyen de +10 % par an), porté par une population enthousiaste à l'idée d'accéder à cette « mobilité facilitée » ouvrant de nouveaux horizons (Wiel, 1999).

et des bureaux pour des associations ici sur la plaine de Droixhe, qui distribuera le public. Donc c'est deux aménagements qui vont être 100% séparés. Les travaux sont phasés donc toute la sécurisation de la tour qui passe d'abord donc par le complexe des circulations verticales, du réaménagement complet du rez-de-chaussée et aussi la mise à niveau au niveau normes incendies, l'éclairage de sécurité et l'entièreté du désenfumage de la tour doit être réalisés pour le 31 août. Après vient une deuxième phase des travaux qui sera la fermeture des locaux au premier, deuxième et troisième niveau pour servir d'assise future pour les asbl et les bureaux. » (RTC Tele Liège, 2012).

Il est important de préciser que ce travail de fin d'études ne tiendra pas compte des quatre premiers étages. En effet, n'étant pas dédiés aux logements, ils accueillent des activités diverses tels que des bureaux ainsi qu'une surface commerciale.

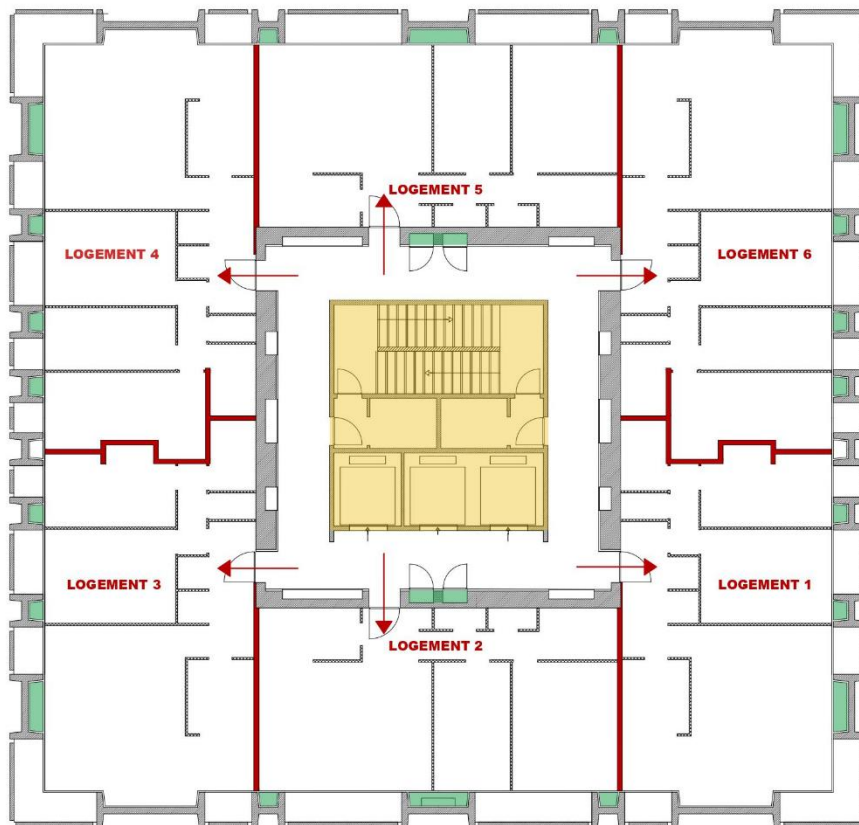


Fig. 33- La facade de la tour Match
Source : Biemar&Biemar



Fig. 34 - Socle de la tour Match
Source : Biemar&Biemar

Analyse générale - fonctionnement et gabarit



Etage type +6 à +28

TOUR DE DROIXHE

Légende



Gaines techniques



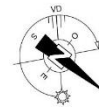
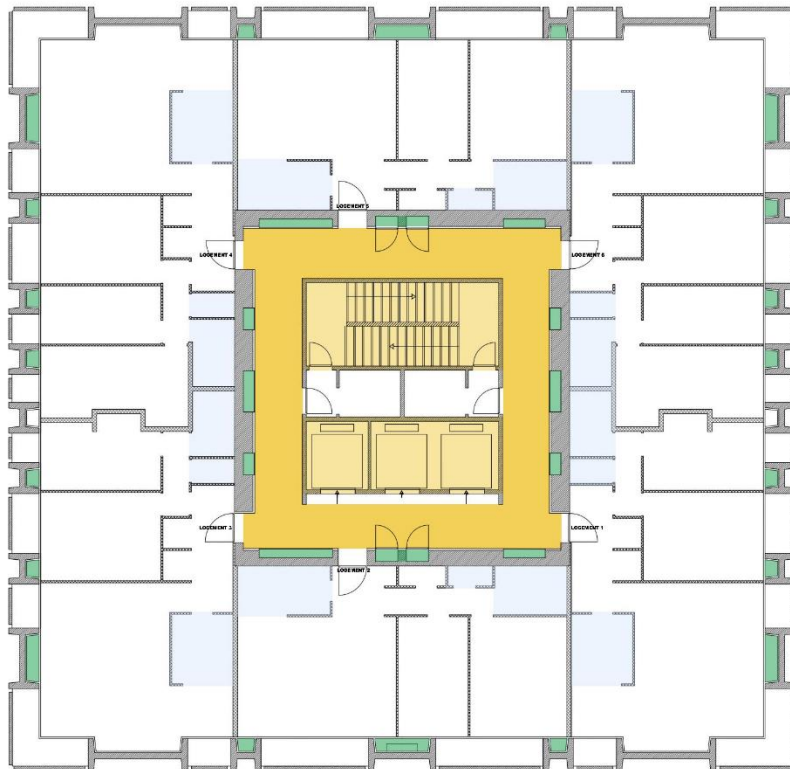
Circulation



Murs mitoyens entre appartements



La tour Match, avec ses dimensions imposantes de 25,2 m sur 23,8 m, se distingue par une conception ingénieuse qui optimise l'espace et la circulation au sein de ses murs. L'aspect novateur réside dans la position centrale de la circulation verticale, stratégiquement placée au cœur de la tour. Cette disposition astucieuse permet une distribution efficace de l'ensemble des logements, minimisant ainsi l'utilisation de couloirs superflus. La structure de la tour est caractérisée par une ossature, éliminant la nécessité de murs porteurs conventionnels entre les différents espaces. Cette approche architecturale offre une flexibilité remarquable dans la configuration des intérieurs, permettant une adaptabilité accrue aux besoins des résidents.

Par ailleurs, l'organisation des installations techniques constitue un autre élément clé de la conception. Ces éléments sont stratégiquement répartis le long des façades et concentrés au niveau du noyau central, enveloppant la cage de circulation. Cette disposition maximise l'efficacité de l'utilisation de l'espace, tout en facilitant l'entretien et l'accès aux équipements.



Etage type +6 à +28
TOUR DE DROIXHE

Légende

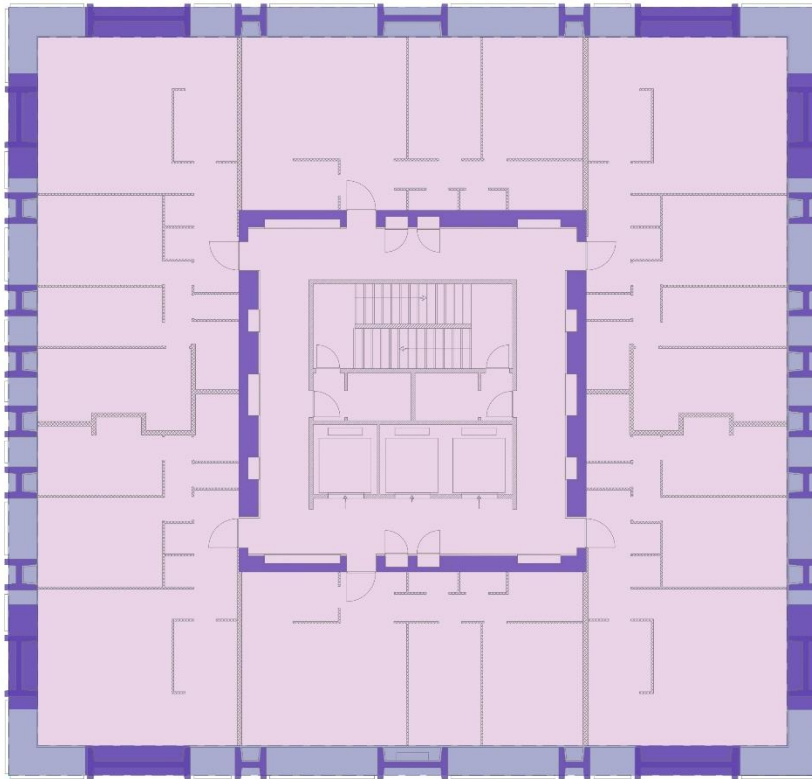
-  Circulation horizontale commune
-  Circulation verticale commune
-  Espaces servants
-  Gaines techniques

La stratégie d'organisation spatiale de la tour Match est élaborée avec une précision qui vise à maximiser l'efficacité et le confort pour ses résidents. La circulation verticale, judicieusement située au centre du bâtiment, sert de colonne vertébrale pour la distribution des logements. À chaque étage, un hall collectif donne accès à un total de six logements. L'utilisation d'un couloir périphérique contourne la cage d'escalier, offrant une entrée directe à chaque unité résidentielle, optimisant ainsi le temps de déplacement et la commodité pour les habitants.

L'ingéniosité de cette typologie de circulation se manifeste également dans la possibilité d'offrir une orientation double à quatre des six logements par étage. Cette disposition permet aux résidents de bénéficier d'une exposition optimale, favorisant la luminosité naturelle et la ventilation croisée. Les deux logements restants, bien que dotés d'une orientation simple, profitent également d'une répartition réfléchie au sein du bâtiment.




En ce qui concerne les espaces servants tels que la cuisine, les WC et la salle de bains, leur agencement est soigneusement orchestré autour du noyau central. Cette disposition stratégique centralise les installations techniques, simplifiant ainsi l'acheminement des conduites et optimisant l'espace disponible.

Analyse structurelle
La structure primaire de la tour Atlas



Etage type +6 à +28
TOUR DE DROIXHE

Légende

-  Plancher
-  Eléments verticaux
-  Poutre ceinture

La structure de la tour Match est une structure à ossature, préfabriquée et assemblée sur place. Une poutre de ceinture (schéma 1) dessine le pourtour des façades de l'immeuble, qui repose sur 8 colonnes rectangulaires. Le bloc central, englobant la cage d'escalier, est également porteur et fonctionne avec la poutre. La cage d'escalier centrale sert ici d'élément de contreventement pour que la tour ne flanche pas sous les efforts horizontaux appliqués à cette dernière. C'est sur la poutre principale que se placent les éléments de structure verticaux composant l'enveloppe (image 2). Le squelette de la structure ne pourra pas être changé au cours des travaux de rénovation.

Les différents éléments composant l'enveloppe sont préfabriqués et assemblés sur site lors de la construction. Cette typologie de structure est libre de murs porteurs au niveau du plan et permet ainsi un emménagement plus flexible des différents logements. Toutes les parois qui séparent les différents logements les uns des autres sont des parois non porteuses.

La structure porteuse au niveau des façades se compose d'éléments préfabriqués en forme de « U », assemblés sur place. Cette technique permet d'ériger un bâtiment d'une certaine hauteur en un temps minime. Il est important de citer la double fonction qu'à la structure porteuse au niveau des façades. De fait, non seulement elles donne la stabilité nécessaire à l'immeuble, mais en plus de cela, les gaines de chauffage y passent et distribuent ainsi l'ensemble des logements. Dans chaque élément structurel vertical est cachée une gaine, alimentant chaque espace en contact avec cette dernière. Avec ce système, lorsqu'un problème survient sur une des gaines, les autres parties des logements peuvent encore être chauffées par le biais des autres gaines, pas en panne.

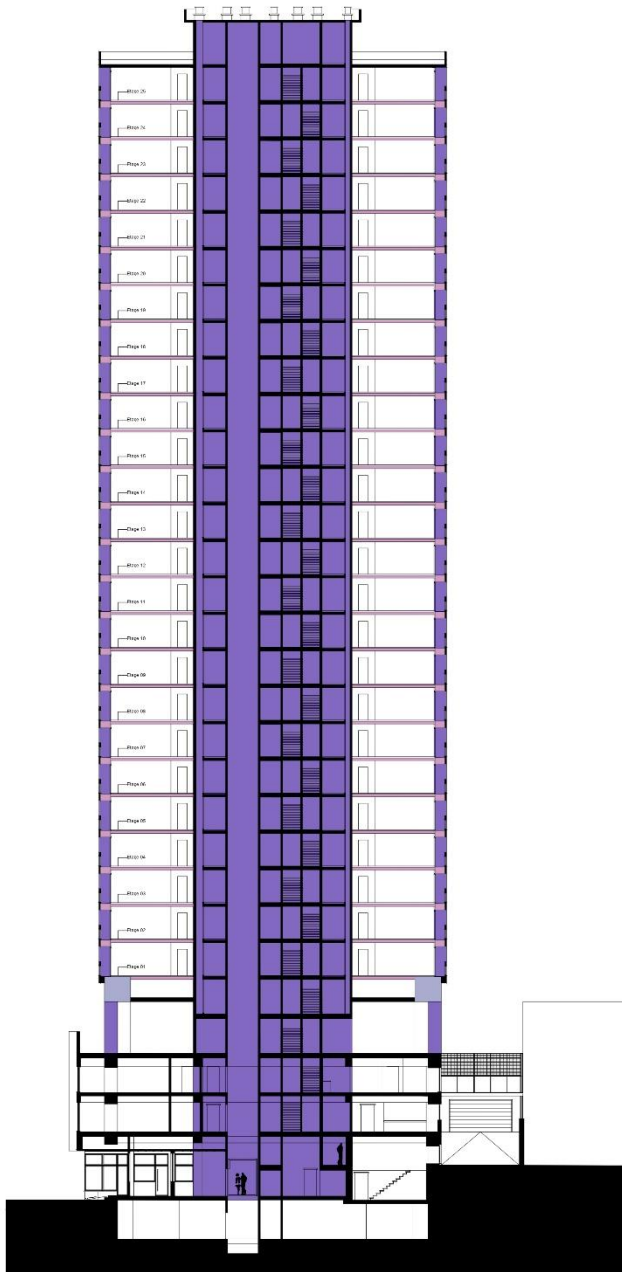


Fig. 35 - Coupe de la structure primaire
Source : Coupe réalisée par l'autrice

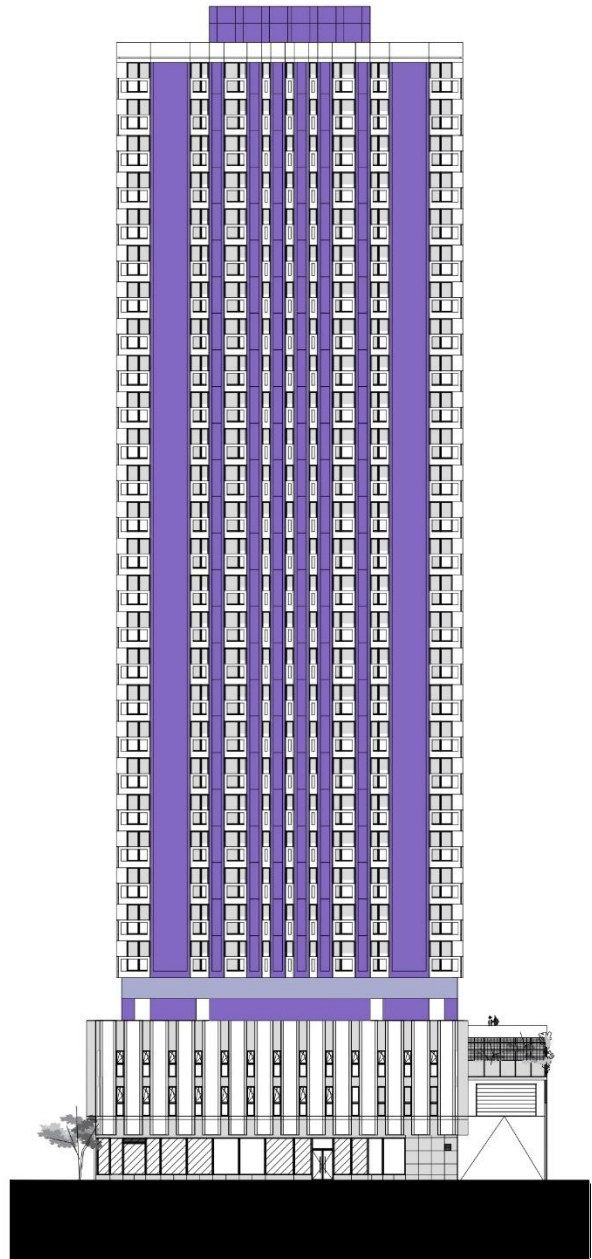


Fig. 36 - Elévation de la structure primaire
Source : Elévation réalisée par l'autrice

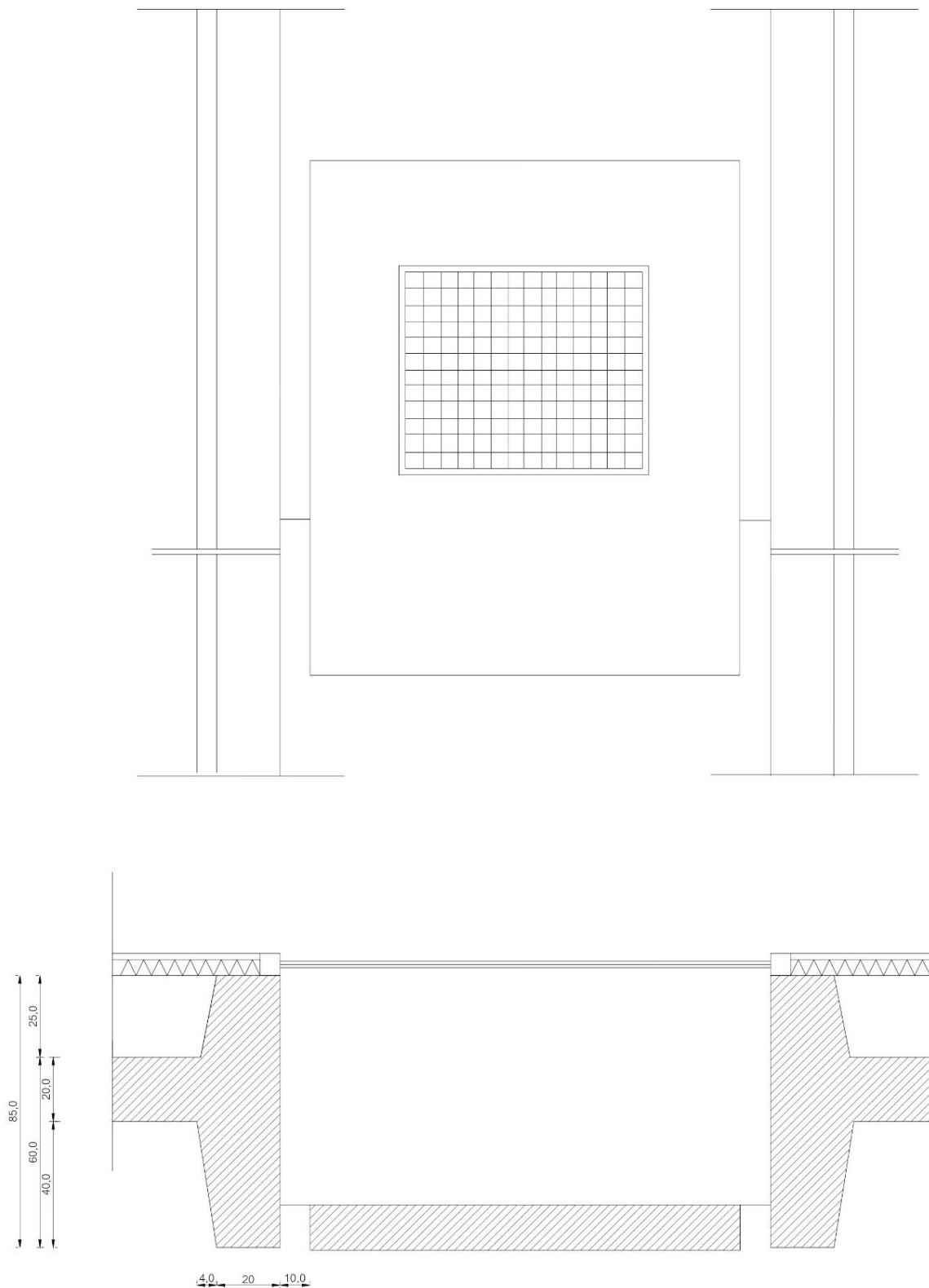


Fig. 37 - Détail en élévation et en plan du balcon de la tour Match
 Source : Elévation et plan réalisés par l'autrice

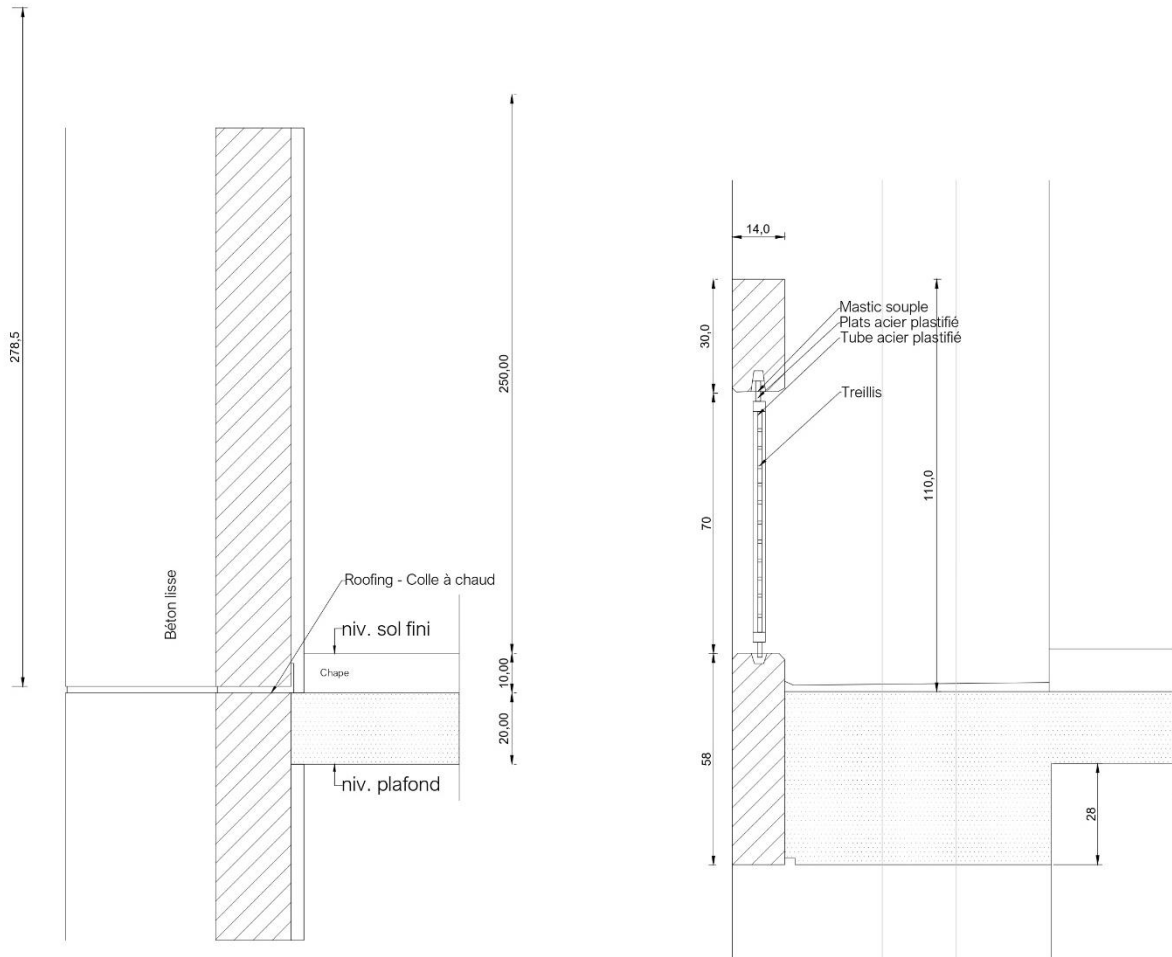


Fig. 38 - Section du balcon de la tour Match
 Source : Coupes réalisées par l'autrice

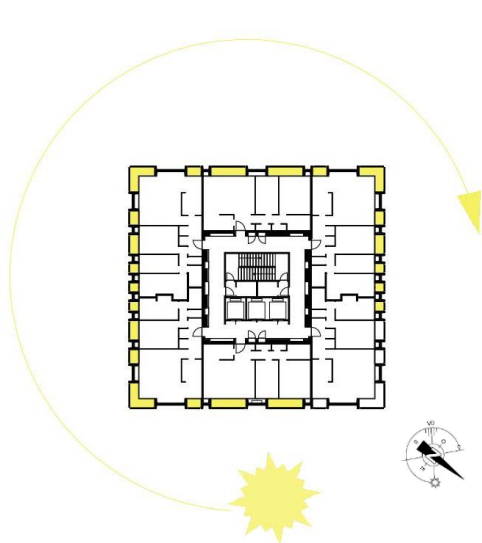


Fig. 40 - Ensoleillement des balcons en été
Source : Schéma réalisé par l'auteurice

En été...

Pendant les jours les plus chauds, la quasi-totalité des surfaces des 4 façades profitent du soleil à un moment donnée de la journée.

Effectivement, les façades Sud-Est et Sud-Ouest sont pratiquement ensoleillées continuellement tandis que la façade Nord-Est seulement le matin et la façade Nord-Ouest exclusivement fin de journée.

Pour cette raison, 5 des 6 logements sont éclairés naturellement à l'inverse du logement qui se trouve orienté Nord.

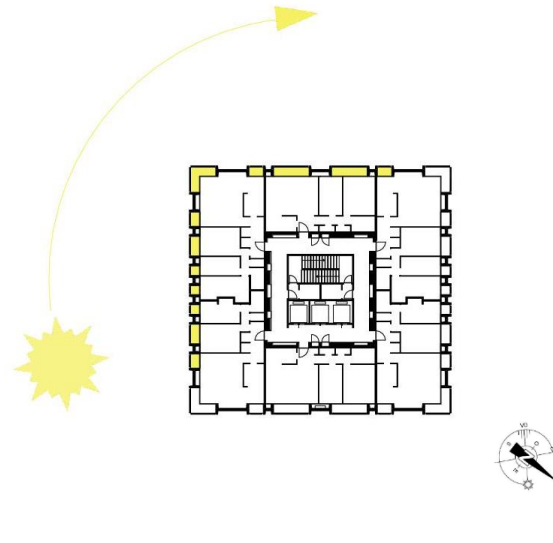


Fig. 39 - Ensoleillement des balcons en hiver
Source : Schéma réalisé par l'auteurice

En hiver...

En revanche, en hiver, seulement les façades Sud-Est et Sud-Ouest bénéficient de l'ensoleillement hivernal. De ce fait, seulement 3 à 4 appartements profitent du soleil, laissant 2 habitations sans lumière naturelle.

L'apport de lumière dans les espaces des logements

La tour Match permet une double orientation de 4 des 6 logements. En effet, il s'agit des habitations se trouvant aux angles de la tour. Composées de 6 ouvertures, les façades permettent un ensoleillement de $16,5 \text{ m}^2$, soit $1/5$ de la surface du plancher de l'appartement d'environ 85 m^2 . Chaque pièce est dotée d'une ouverture donnant sur un balcon d'une largeur de 70 cm. Ces portes-fenêtres offrent sur l'ensemble de l'immeuble des vues dégagées et lointaines, sans obstacle.

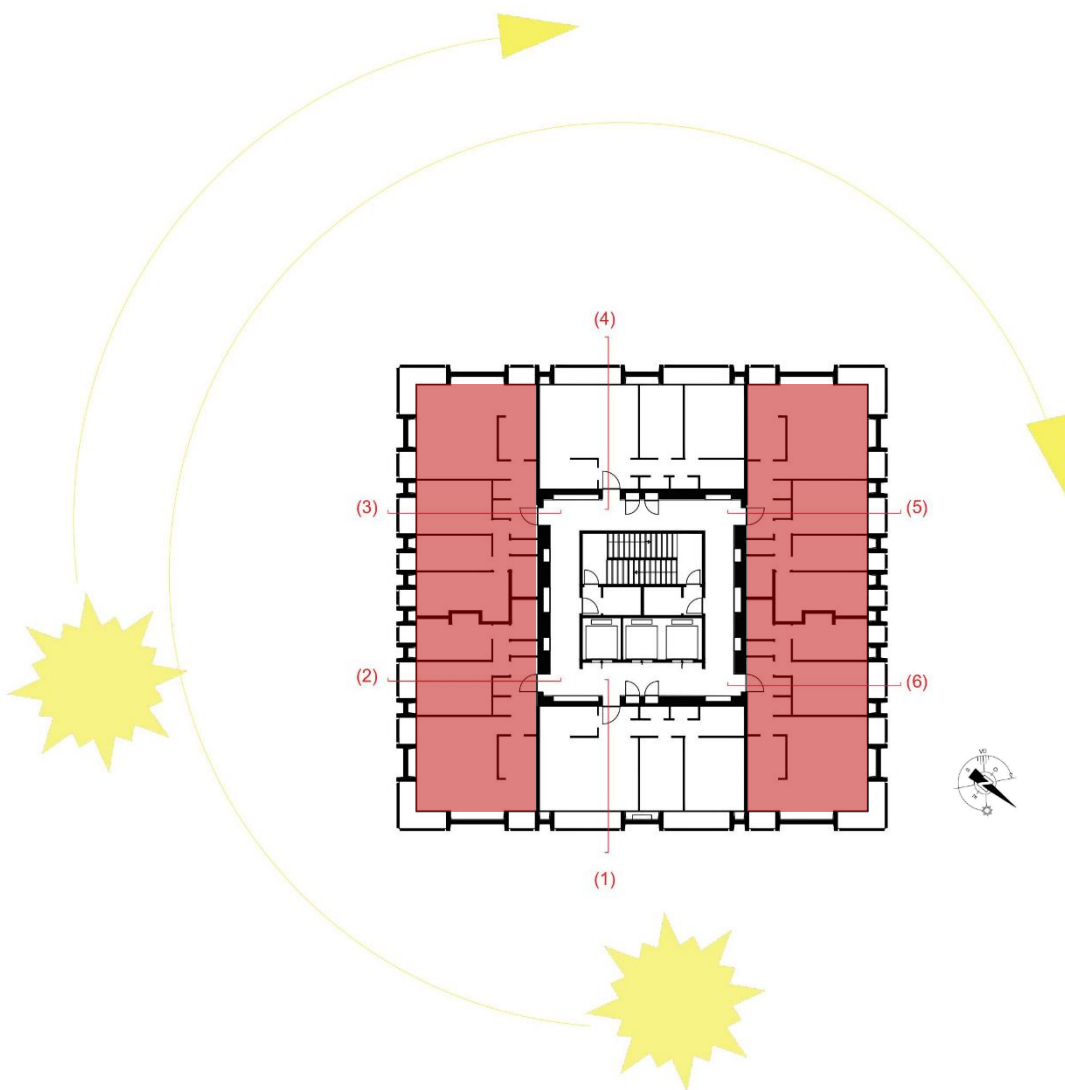


Schéma (1)

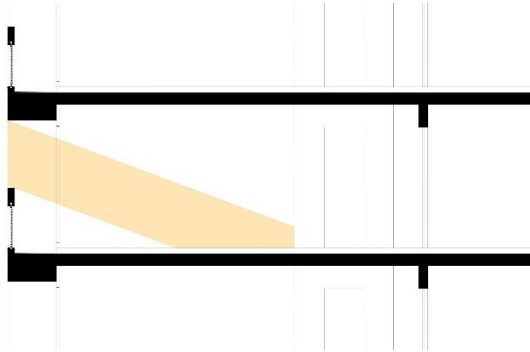


Fig. 41 - Ensevelissement 7h00 en été
Source : Schéma réalisé par l'autrice

Le schéma (fig.42) ci-contre montre l'ensevelissement de la pièce de l'appartement en début de matinée (7h) pendant l'été.

En revanche, en hiver, le soleil n'est pas encore levé.

Schéma (2)

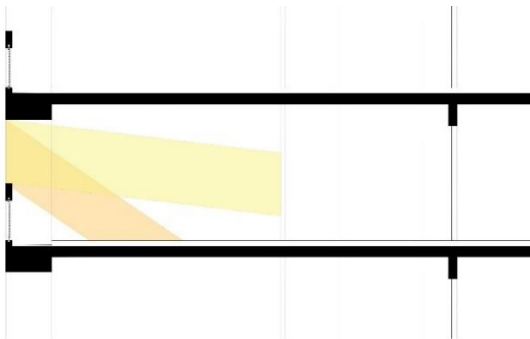


Fig. 42 - Ensevelissement 10h00 en été et hiver
Source : Schéma réalisé par l'autrice

Dans le schéma (fig.43), on observe que le soleil d'été illumine beaucoup moins la pièce au cours de la matinée. Le soleil d'hiver est quant à lui assez bas et éclaire généreusement la pièce.

Schéma (3)

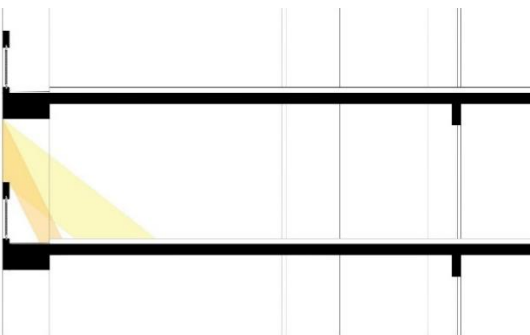


Fig. 43 - Ensevelissement 12h00 en été et en hiver
Source : Schéma réalisé par l'autrice

La coupe schématique (fig.44) montre très peu d'éclairage naturel en été vers midi. Seul le balcon mis en place en profite. Le soleil d'hiver est positionné plus haut et éclaire lui aussi peu l'espace.

Schéma (4)

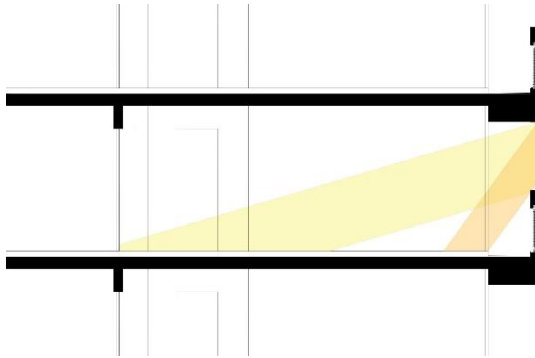


Fig. 44 - Ensoleillement 16h00 en été et hiver
Source : Schéma réalisé par l'autrice

Le schéma (fig.45) présente un espace de l'appartement fin de journée, avant le début de la soirée. Le soleil d'été est toujours positionné assez haut pour que le balcon sur cette façade puisse en bénéficier. Le soleil d'hiver, toujours positionné assez bas, commence à se coucher et illumine la profondeur de l'appartement.

Schéma (5)



Fig. 45 - Ensoleillement 18h00 en été
Source : Schéma réalisé par l'autrice

Les schémas (fig.46) et (fig.47) représentent les espaces qui sont orientés Est et Nord-Est. Lorsque le soleil se couche, les rayons de pénètrent généreusement dans l'espace.

Schéma (6)

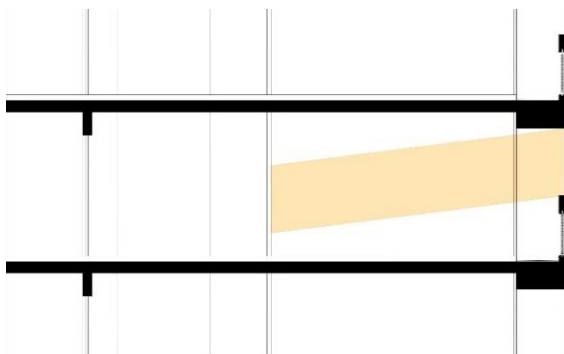


Fig. 46 - Ensoleillement 20h00 en été
Source : Schéma réalisé par l'autrice

En hiver, le soleil est déjà couché à ce moment donné et ne permet plus d'éclairer naturellement les pièces.

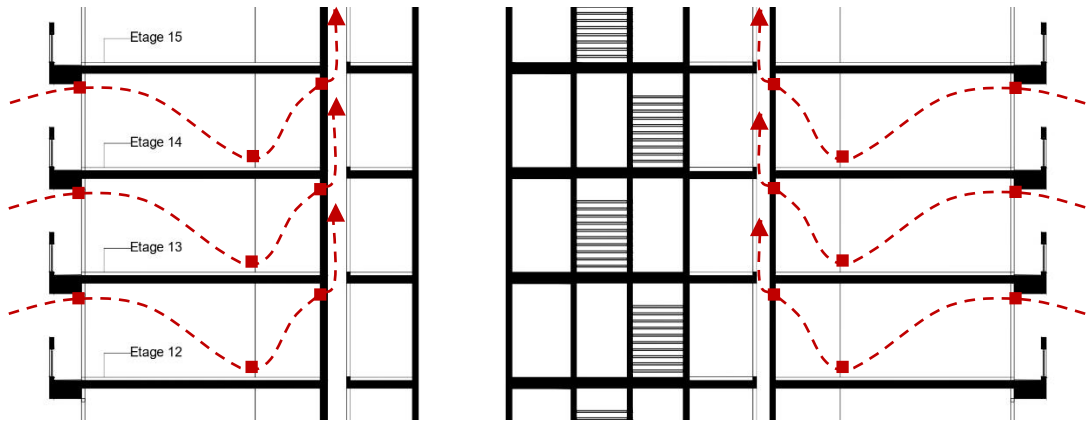


Fig. 47 - Ventilation naturelle
 Source : Schéma réalisé par l'autrice

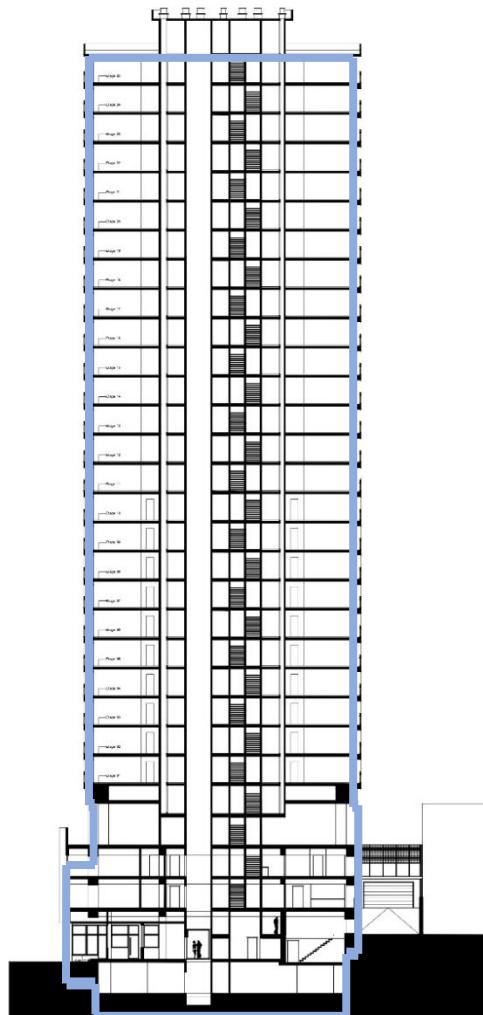


Fig. 48 - Paroi froide
 Source : Schéma réalisé par l'autrice

La ventilation naturelle

Le système de ventilation de l'immeuble repose sur une approche de ventilation naturelle. Les châssis des chambres ainsi que des salons sont dotés de grillages spécifiquement conçus pour permettre l'amenée d'air. Pour compléter ce dispositif, des grilles positionnées au niveau des portes permettent le cheminement de l'air des zones sec aux zones à haute humidité telles que les WC et la salle de bain. Ainsi, des conditions ambiantes optimales sont assurées avec une distribution d'air équilibrée.

Enfin, pour conclure le cycle de ventilation, l'air circule à travers les divers espaces humides évoqués précédemment avant d'être acheminés vers des conduits spécifiquement prévus à cet effet.

SWOT Analyse



Forces

Spatialité

- Les pièces de vie profitent de vues dégagées et de lumière naturelle.

Bio-climat / Confort

- En été, toutes les façades profitent des apports solaires au moins une fois dans la journée. Par étage, 5 des 6 logements sont ensoleillés.
- 4 de 6 logements profitent d'une double orientation ; seuls deux logements par étage sont mono-orientés.

Structure/Stabilité

- La notion de plan libre : Les murs intérieurs ne sont pas des murs porteurs. De ce fait, des aménagements intérieurs sont possibles.
- Chaque logement est doté de balcons extérieurs.



Faiblesses

Spatialité

- Les espaces humides n'ont pas de lumière naturelle et ne sont pas ventilés.

Bio-climat/Confort

- En hiver, deux des quatre façades ne sont pas du tout ensoleillées.
- Présence de ponts thermiques : Une couche minimale d'isolation (4cm) est présente au niveau des façades. La continuité des balcons crée également des ponts thermiques à cause de l'isolation non-continue.
- Des grilles pour assurer la ventilation naturelle sont intégrés dans les châssis. Ces grilles apportent de l'inconfort thermique dans les logements.
- Les châssis sont encore les châssis d'origine, peu performants.
- Au vu de la hauteur de la tour, le vent est une contrainte aux étages les plus hauts.

Structure/Stabilité

- Les planchers sont très fins. Des fissurations apparaissent au niveau des cloisons, dues à la déformation des planchers.
- La structure en ossature ne peut pas être changée.
- Le béton ne vieillit pas bien. La carbonatation attaque les armatures présentes dans le béton.
- Les balcons ne sont pas utilisables au vue de leur profondeur de 73cm.

L'ajout par le biais d'extensions peut générer des opportunités, mais elle n'est pas dispensée de risques potentiels.



Opportunités

Spatialité

- Les façades sont pourvues d'un nombre significatif de fenêtres, ce qui revêt une importance capitale en vue de l'ajout d'un espace supplémentaire. Ces ouvertures sont stratégiques pour favoriser une bonne pénétration de la lumière dans le logement, assurant ainsi le confort optimal des occupants.

Bio-climat / Confort

- La double orientation prévalant dans la majorité des habitations peut se révéler avantageuse pour déterminer l'emplacement des extensions. Ainsi, le choix stratégique de l'emplacement de l'extension peut être influencé par la recherche de l'orientation optimale.

Structure/Stabilité

- Chaque logement est doté de plusieurs balcons, offrant ainsi la possibilité d'augmenter l'espace habitable grâce à une extension supplémentaire. Cette initiative vise à accroître le confort des résidents.



Menaces

Spatialité

- L'installation d'un système de ventilation semble être relativement compliqué.

Bioclimat/Confort

- La présence de vents peut constituer un défi lors de l'implantation d'extensions. En effet, cette contrainte doit être scrupuleusement considérée, particulièrement aux étages supérieurs, afin de déterminer la faisabilité d'extensions spécifiques, que ce soit des espaces clos ou ouverts.

Structure/Stabilité

- La configuration structurelle d'origine n'est pas conçue pour supporter des charges supplémentaires. Cette limitation peut entraîner une réduction significative de la profondeur possible des extensions, impactant ainsi les diverses utilisations auxquelles elles pourraient être destinées.

Analyse spatiale des logements Description générale des logements de la tour Match

Les immeubles du quartier de Droixhe connaissent des avancées majeures concernant les équipements techniques, que ce soit dans les espaces communs ou alors dans les appartements privés. En effet, l'aménagement de garages pour les véhicules à deux roues, accessibles par une rampe ainsi que l'installation de systèmes de communication comme des parlophones, la mise en place de boîtes aux lettres, mais encore un local de stockage pour les poussettes dans les halls d'entrée marque une avancée dans l'architecture de cette époque. À l'intérieur des appartements, le modernisme laisse également des traces.

Les étages +4 à +28 de la tour Match présentent la même organisation spatiale. Chaque niveau regroupe 6 appartements, 2 logements 3 chambres et 4 logements 2 chambres. Comme déjà évoquée auparavant, la grande majorité des appartements a bénéficié de travaux de rafraichissements.

Chaque habitation est dotée d'un sas d'entrée qui dessert l'espace de vie, les espaces de nuit ainsi que les espaces humides, équipée par des espaces de rangement et de stockage. Dans cette entrée sont installés un parlophone, un ouvre-porte, mais également un compteur individuel d'électricité par logement. L'accès à ce dernier est relativement facile, au vu de l'emplacement. Effectivement, comme introduit plus haut, le modernisme a également laissé des traces à l'intérieur des appartements avec l'installation de cuisines presque entièrement équipées et nourries d'eau chaude et froide. Dans le cas d'étude, cette cuisine s'ouvre sur l'espace de séjour grâce à un rideau qui peut être ouvert ou alors fermé.

L'hygiène est également un facteur qui est mis en évidence pendant les années 50, au début de l'élaboration de la plaine de Droixhe. De fait, chaque logement bénéficie d'une salle de bain ou de douche équipée d'un lavabo ainsi que d'une baignoire ainsi que d'une toilette dotée d'un WC.

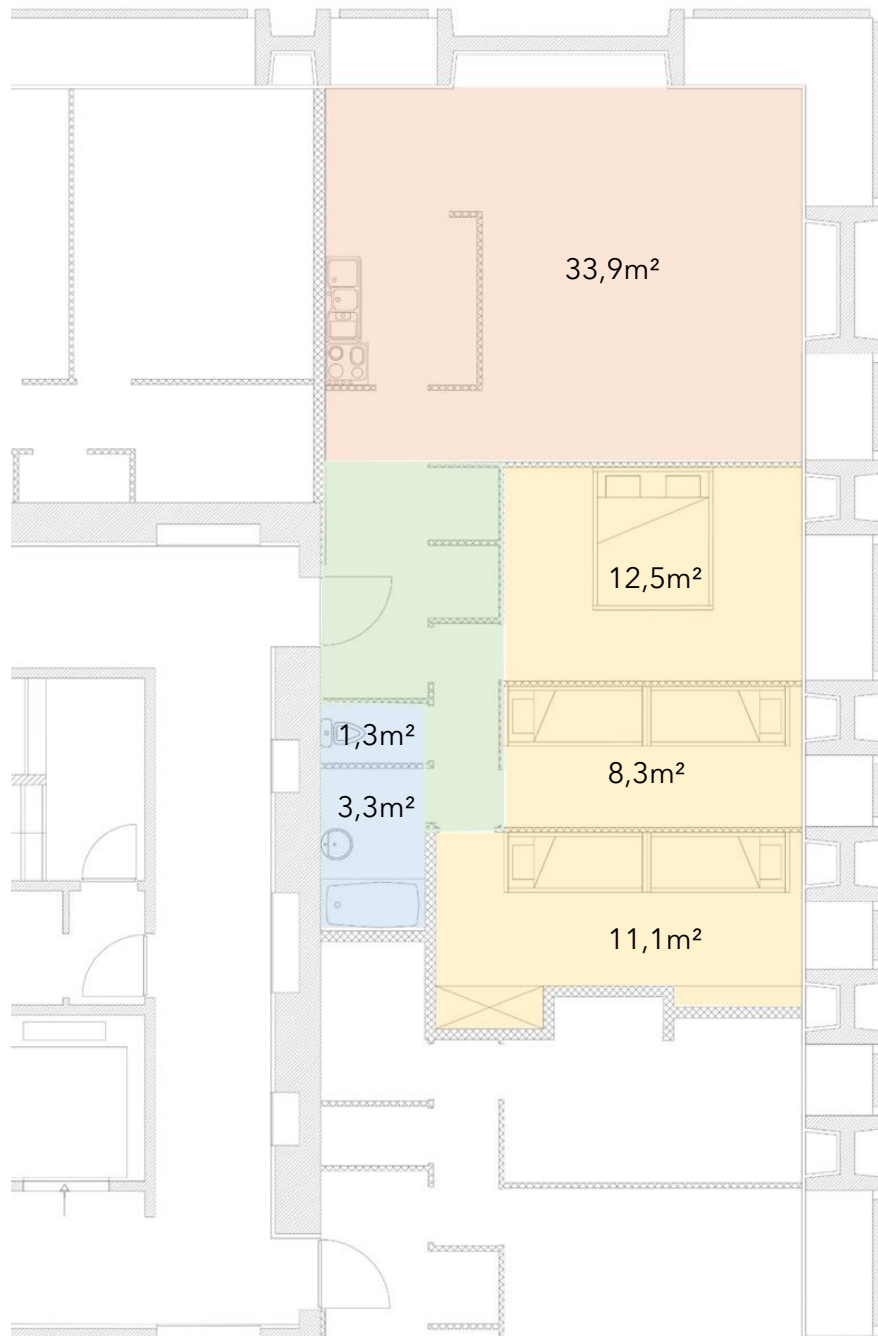


Fig. 49: Plan de la tour Atlas réalisé par l'auteur

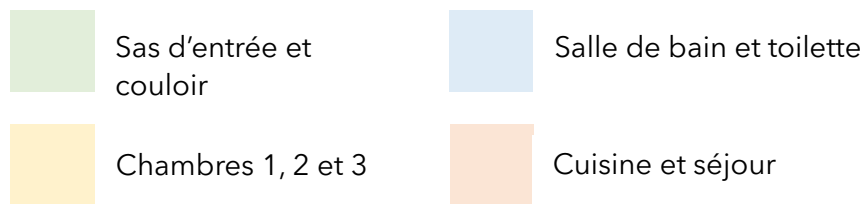




Fig. 50 - Salon d'un logement de la tour Match
Source : Photo prise par l'autrice



Fig. 51 - Vue bi-orientée dans le salon d'un logement de la tour Match
Source : Photo prise par l'autrice



Fig. 52 - Cuisine avant les travaux de rafraichissement
Source : Photo prise par l'autrice



Fig. 53 - Cuisine après les travaux de rafraichissement
Source : Photo prise par l'autrice



Fig. 54 - Salle de bains
Source : Photo prise par l'autrice



Fig. 55 - Cuisine
Source : Photo prise par l'autrice



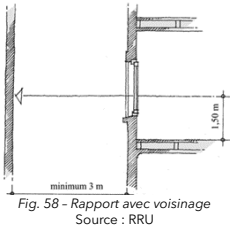

Fig. 56 - Couloir collectif
Source : Photo prise par l'autrice



Fig. 57 - Ascenseurs
Source : Photo prise par l'autrice

Tableau reprenant les indications du Règlement Régional d'urbanisme

		Appartement 1 (2 chambres) - orientation unidirectionnelle		Appartement 2 (2 chambres) - orientation bidirectionnelle		Appartement 3 (3 chambres) - orientation bidirectionnelle	
		Imposé par le règlement régional d'urbanisme	Dimensions/surfaces prises /mesurées de la Tour Match	Imposé par le règlement régional d'urbanisme	Dimensions/surfaces prises /mesurées de la Tour Match	Imposé par le règlement régional d'urbanisme	Dimensions/surfaces prises /mesurées de la Tour Match
Normes minimales de superficie et de volume							
Normes minimales de superficie	Cuisine intégrée à la pièce de séjour	28 m ²	27,9 m ²	28 m ²	33,9 m ²	28 m ²	33,9 m ²
	Chambre 1	14 m ²	13,7 m ²	14 m ²	12,5 m ²	14 m ²	12,5 m ²
	Chambre 2	9 m ²	10,0 m ²	9 m ²	9,8 m ²	9 m ²	12,5 m ²
	Chambre 3	9 m ²	/	9 m ²	/	9 m ²	8,3 m ²
Local de rangement et de stockage		Présent	Présent mais très petit	Présent	Présent mais très petit	Présent	Présent mais très petit
Hauteur sous plafond		2,5 m	2,5 m	2,5 m	2,5 m	2,5 m	2,5
Largeur de la porte d'entrée		0,95 m	1 m	0,95 m	1 m	0,95 m	1m
Confort et hygiène							
Salle de bains / douche		1 salle de bain ou douche équipée d'eau froide et d'eau chaude	Présent	1 salle de bain ou douche équipée d'eau froide et d'eau chaude	Présent	1 salle de bain ou douche équipée d'eau froide et d'eau chaude	Présent
WC		1 WC	Présent	1 WC	Présent	1 WC	Présent
		Toilette 0,80x1,20m	0,7x1,55m	Toilette 0,80x1,20m	0,84x1,5m	Toilette 0,80x1,20m	0,84x1,5m
Cuisine		1 évier	Présent	1 évier	Présent	1 évier	Présent
		3 prises pour appareils électroménagers et 1	Présentes	3 prises pour appareils électroménagers et 1	Présentes	3 prises pour appareils électroménagers et 1	Présentes

	appareil de cuisson		appareil de cuisson		appareil de cuisson	
Eclairage naturel	Eclairage naturel des locaux habitables	Présent	Eclairage naturel des locaux habitables	Présent	Eclairage naturel des locaux habitables	Présent
Vues 	Vues directes et horizontales (libre de tout obstacle sur au moins 3m)	Présentes	Vues directes et horizontales (libre de tout obstacle sur au moins 3m)	Présentes	Vues directes et horizontales (libre de tout obstacle sur au moins 3m)	Présentes
Ventilation	Cuisine, salle de bain et toilette est ventilée	Ventilation naturelle de la cuisine (1), de la salle de bain (2) et de la toilette (3) 	Cuisine, salle de bain et toilette est ventilée	Ventilation naturelle de la cuisine (1), de la salle de bain (2) et de la toilette (3)	Cuisine, salle de bain et toilette est ventilée	Ventilation naturelle de la cuisine (1), de la salle de bain (2) et de la toilette (3)

Equipements							
Raccordements	Electricité	Au moins un point lumineux et une prise d'électricité	Présent	Au moins un point lumineux et une prise d'électricité	Présent	Au moins un point lumineux et une prise d'électricité	Présent
		Compteurs individuels avec accès aisé	Présent	Compteurs individuels avec accès aisé	Présent	Compteurs individuels avec accès aisé	Présent
		Présence de parlophone et d'ouvre-porte	Présence de parlophone et d'ouvre-porte dans les appartements rénovés	Présence de parlophone et d'ouvre-porte	Présence de parlophone et d'ouvre-porte dans les appartements rénovés	Présence de parlophone et d'ouvre-porte	Présence de parlophone et d'ouvre-porte dans les appartements rénovés
Ascenseur		Présence d'un ascenseur dans un immeuble à logements multiples (Rez +4 étages)	Remise aux normes de sécurité des ascenseurs dans la tour Match : présence de 3 ascenseurs				

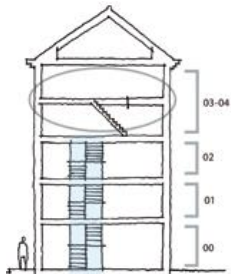


Fig. 59 - Normes pour ascenseurs
Source : RRU

Conclusion

Comme le démontre le tableau ci-dessus, les normes d'habitabilité des logements sont globalement respectées pour les appartements ayant bénéficié de travaux de rafraîchissements ces dernières années. Cependant, les surfaces des chambres 1 et 2 sont trop petites et ne correspondent plus aux dimensions imposées par le guide régional d'urbanisme. Ces dernières doivent donc être revues.

Un autre point problématique est la ventilation naturelle par les châssis. Effectivement, des grilles ont été intégrées dans le cadre afin de ventiler l'ensemble des espaces de nuit et de vie. Or, d'après Cyrille Michel, technicien de la plaine de Droixhe, ces bouches sont obstruées par les habitants. Ces derniers ne comprennent pas l'utilité de ces grilles ou alors leur présence les dérange dans leur quotidien. Par conséquent, nombreux sont les appartements qui présentent des problèmes de moisissures suite à ce dérèglement des ventilations naturelles. Effectivement, au cours des deux dernières décennies, le domaine de la rénovation énergétique a connu une expansion significative, principalement orientée vers la réduction des émissions de carbone. Néanmoins, les occupants des logements rénovés font face à plusieurs défis, tels que l'incapacité à régler les thermostats et débits de ventilation, ainsi que des problèmes d'entretien des équipements qui ne sont pas toujours bien compris.

Comme le souligne Julie Neuwels (2022), les locataires ont développé des tactiques de construction de confort qui diffèrent de celles préconisées par les experts. Ces tactiques, bien que souvent adoptées inconsciemment, se révèlent énergivores et vont à l'encontre des objectifs environnementaux primordiaux, notamment par le recours à des chauffages d'appoint, l'obstruction des bouches de ventilation, et le maintien de débits de ventilation insuffisants.

De manière complémentaire, Newels (2022) met en évidence le fait que certaines pratiques de construction de confort adoptées par les habitants peuvent compromettre le bon fonctionnement des équipements sur le long terme, entraînant des situations d'insalubrité aux conséquences potentielles sur la qualité de vie et la santé des résidents.

Pour finir, la présence des pigeons rend la vie dans certains logements très compliquée. Effectivement, les balcons, étant très peu utilisés au vu de leur petite taille, deviennent un lieu de vie pour ces animaux. Ainsi, la présence de matière fécale d'oiseau est inévitable et condamne de ce fait les espaces extérieurs.



Fig. 60 - Apparition de moisissures
Source : Cyrille Michel



Fig. 61 - Bouche de ventilation bouchée
Source : Cyrille Michel

Élément de construction		U_{max} [W/m ² K]
Parois délimitant le volume protégé		
	Toitures et plafonds	0.24
	Murs (1)	0.24
	Planchers (1)	0.24
	Portes et portes de garage	2.00
	Fenêtres : - Ensemble châssis et vitrage - Vitrage uniquement	1.50 1.10
	Murs-rideaux : - Ensemble châssis et vitrage - Vitrage uniquement	2.00 1.10
	Parois transparentes/translucides autres que le verre : - Ensemble châssis et partie transparente - Partie transparente uniquement (ex : coupole de toit en polycarbonate,...)	2.00 1.40
	Briques de verre	2.00
	Parois entre 2 volumes protégés situés sur des parcelles adjacentes (2)	
Parois opaques à l'intérieur du volume protégé ou adjacentes à un volume protégé sur la même parcelle (3)		1.00

Fig. 62 - Tableau des exigences de valeurs U_{max}
Source : SPW, 2021

Optimisation des conditions de vie : Analyse des améliorations requises pour le cas d'étude

Lors de l'évaluation du cas d'étude, plusieurs aspects cruciaux ont été identifiés qui nécessitent une amélioration pour garantir un environnement de vie plus sain et confortable au sein de la tour résidentielle. Ces aspects englobent des questions liées à la ventilation, à l'isolation thermique de l'enveloppe et à l'utilisation des balcons, et sont essentiels pour répondre aux normes actuelles de qualité de vie et de durabilité des logements.

1. Amélioration de la ventilation : Lutte contre les problèmes de moisissures

L'un des enjeux majeurs relevés concerne la présence récurrente de moisissures dans les logements. Cette situation est principalement attribuable à une mauvaise manipulation des grilles de ventilation intégrées dans les cadres des châssis. Les conséquences de cette problématique ne sont pas à sous-estimer, car une ventilation inadéquate peut compromettre la qualité de l'air intérieur, potentiellement nuisible à la santé des occupants. Ainsi, une optimisation du système de ventilation s'impose, visant à éliminer efficacement ces moisissures en favorisant une circulation d'air adéquate tout en minimisant les risques pour la santé des résidents (fig. 60).

2. Renforcement de l'isolation de l'enveloppe : Réduction des ponts thermiques

Un autre défi majeur identifié est l'insuffisance de l'isolation thermique de l'enveloppe du bâtiment. Bien qu'une certaine isolation soit en place, les normes actuelles dictent des niveaux bien plus exigeants pour garantir une efficacité énergétique optimale. La valeur U mesurée à $0,73 \text{ W/m}^2\text{K}$ est bien loin des $0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$ prescrit par les normes actuelles (SPW, 2021) (fig.62).

Afin de répondre à ces normes et d'améliorer significativement la performance thermique du bâtiment, une isolation renforcée est incontournable. Cela contribuera à minimiser les pertes de chaleur et les ponts thermiques.

Tableau récapitulatif des hauteurs sous plafond minimales :

1. local habitable (salon, salle à manger, cuisine, chambre à coucher, etc.)	2.50 m
2. local habitable dans les combles	2.30 m (sur au moins la moitié de la superficie du local)
3. dégagements et locaux non habitables (couloir, salle de bain, toilette, garage, etc.)	2.20 m

Fig. 63 - Tableau avec les hauteurs sous-plafond minimales
Source : Règlement Région d'Urbanisme



Fig. 64 - Balcon habité par des pigeons
Source : Photo prise par l'autrice

3. Réaménagement des balcons : optimisation de l'espace utilisable

L'utilisation limitée des balcons, attribuable à leur profondeur actuelle de 73 cm, pose un autre défi. Ces espaces ne sont pas fonctionnels pour les activités de loisirs ou de détente des occupants, ce qui a entraîné leur occupation par les pigeons (fig.64). Il est impératif de revoir la conception des balcons en augmentant leur profondeur pour les rendre utilisables et attractifs pour les résidents. L'ajout d'une extension offrira aux habitants un espace confortable, encouragera une utilisation optimale et contribuera à la préservation de la propreté et de l'esthétique globale de la tour.

Les défis techniques et spatiaux liés à la rénovation énergétique de la tour Atlas

L'évaluation rigoureuse du contexte étudié a mis en évidence un ensemble de défis d'envergure. Ces obstacles s'articulent principalement autour de la mise en place d'un système de ventilation plus performant, de l'amélioration de l'efficacité énergétique des balcons existants et de l'intégration d'extensions pour une utilisation optimisée.

1. Complexités de l'implantation d'un système de ventilation performant

L'implantation d'un système de ventilation performant est une étape cruciale après la réalisation des travaux d'enduisage de la façade extérieure et le remplacement des châssis dans la tour Match. Cela devient impératif pour éviter la formation de moisissures à l'intérieur des appartements. Cependant, cette tâche est parsemée de complexités et de contraintes à prendre en considération.

L'une des solutions envisagées pour atteindre les normes gouvernementales en matière de ventilation est l'installation d'un système de ventilation double flux. Cependant, cette option se heurte à un obstacle majeur en raison de la faible hauteur sous plafond des appartements de la tour Match. La création d'un faux plafond est nécessaire pour loger les conduits de la VMC, mais les directives urbanistiques stipulent que la hauteur sous plafond ne peut pas être réduite en dessous de 2,5m (Arrêté du Gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale du 21 novembre 2006). Malheureusement, la hauteur actuelle des appartements est déjà de 2,5m, rendant ainsi impossible l'ajout d'un faux plafond et l'installation du système de ventilation double flux (fig.63).

Selon les recommandations Hauglustaine et Simon (2018), l'installation d'un système de ventilation double flux dans un bâtiment existant est rarement adaptée. Il s'agit d'un dispositif occupant une place importante dans l'espace des appartements (Neuwels, 2013). De surcroît, les habitants ne comprennent pas toujours l'utilité de la mise en place d'une ventilation mécanique. Par conséquent, ce système est difficilement adopté

par les occupants car ces derniers obstruent les bouches de ventilation (Neuwels, 2022).

Certains architectes, comme le souligne Julie Newels (2023), préconisent la ventilation naturelle en raison de son caractère plus respectueux de l'environnement. Ils considèrent que les systèmes VMC conventionnels dépendent fortement des réseaux techniques, de l'énergie, et de l'exploitation des ressources naturelles. La philosophie de "faire mieux avec moins" prévaut, mettant en avant des équipements simples, faciles à entretenir, durables dans le temps, et à faible consommation énergétique. Un exemple de cette approche est la rénovation du projet Peterbos, qui privilégie une rénovation légère en termes d'équipements et de matériaux. Cette méthode préfère la simplicité de mise en œuvre à une rénovation lourde (Neuwels, 2023, p.7).

Dans le cadre de l'amélioration du système de ventilation de la Tour Match, plusieurs options ont été examinées, et il apparaît que l'installation d'un système de ventilation de type C présente la solution la plus convaincante. Cependant, il est impératif de ne pas sous-estimer l'impact potentiel du vent, en particulier en ce qui concerne la hauteur de la tour. Lorsque des vents forts sont présents, les grilles positionnées au niveau des châssis pourraient engendrer des niveaux de bruit indésirables.

Afin de remédier à cet effet, deux alternatives ont été envisagées pour optimiser la ventilation de la Tour Match.

- La première solution consiste à opter pour l'installation d'un système de ventilation de type C. Cependant, pour garantir l'acceptation de cette solution par les résidents, il est essentiel de mettre en place un processus d'information transparent et exhaustif. Les habitants doivent être informés du fonctionnement précis de ce système, afin d'éviter les erreurs du passé, telles que l'obstruction accidentelle des bouches d'aération. Dans cette perspective, l'installation de bouches autoréglables pourrait représenter une mesure pertinente pour assurer un apport d'air plus contrôlé. Cette approche vise à sensibiliser les résidents à l'importance du bon fonctionnement du système de ventilation et à éviter les incidents liés à une utilisation inappropriée.
- La deuxième solution envisagée prend en compte l'orientation spécifique de la tour. En fonction de cette orientation, des panneaux de ventilation pourraient être judicieusement positionnés dans les étages les plus élevés de la tour, là où le vent exerce une influence plus significative. Cette stratégie permettrait d'optimiser l'efficacité du système en tirant parti des conditions naturelles, tout en minimisant les risques de bruit excessif généré par les grilles de ventilation.

Il est également important de noter que les conduits d'extraction sont déjà présents dans la structure de la tour Matcha, ce qui rend l'option du système C d'autant plus

pertinente. Travailler avec l'infrastructure existante permet d'éviter des travaux supplémentaires, ce qui peut s'avérer économiquement et logistiquement avantageux.

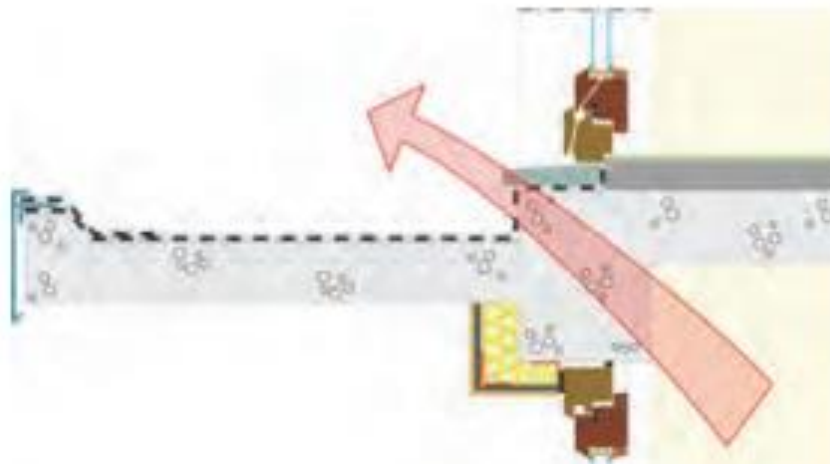


Fig. 65 - Pont thermique généré au niveau du balcon

Source : Energie +, www.energieplus-le site.be, Guide pratique pour la construction et rénovation durable de petits bâtiments, IBGE, Bruxelles, 2007

2. Enjeux de l'optimisation de l'efficacité énergétique des balcons

Les balcons continus en béton, déployés depuis les années 50, engendrent des pertes énergétiques conséquentes du fait de l'interruption de l'isolant occasionnée par les dalles d'étages prolongées vers l'extérieur (fig.65). Résoudre cette problématique requiert une démarche stratégique affinée. Diverses options existent afin d'améliorer les ponts thermiques ainsi que la consommation d'énergie (Deherde et al., 2010) :

- Remplacer les balcons existants par des éléments dissociés de la façade, dissociant ainsi thermiquement le balcon du reste de la structure.
- Intégrer une enveloppe isolante en dessous et au-dessus des balcons actuels pour optimiser leur performance énergétique.
- Transformer les balcons en loggias en les incluant à l'enveloppe chauffée, tout en instaurant une isolation périphérique, afin de limiter les pertes thermiques.

3. Limitations aux extensions de balcons

La conception primaire des planchers soulève un autre défi crucial dans l'objectif de l'intégration d'extensions aux balcons en vue d'en maximiser l'usage. La faible hauteur des planchers, ne mesurant que 20 cm, constitue une restriction significative quant à leur capacité de supporter de telles extensions. Cette contrainte structurelle restreint considérablement les alternatives d'occupation de ces futures extensions.

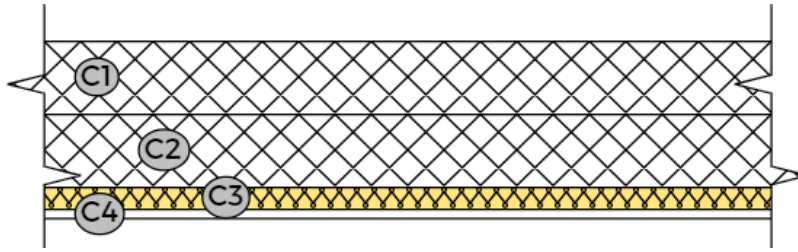


Fig. 66 - Composition du mur existant
Source : TOTEM

Composant(s)					
EXT	C1	Mur - finition extérieure Revêtement ∞ Panneau Béton armé (100 mm) Existant	≥ 60 ans	± 0.1 m	R 0.0
	C2	Mur - finition extérieure Revêtement ∞ Panneau Béton armé (100 mm) Existant	≥ 60 ans	± 0.1 m	R 0.0
	C3	Applications multiples Isolation thermique ∞ Panneau EPS (30 mm) Existant	≥ 60 ans	± 0.03 m	λ 0.04 W/mK R 0.7
INT	C4	Mur - finition intérieure Revêtement ∞ Panneau Plâtre (12.5 mm) Vissé Incluant le joint de remplissage Nouveau	30 ans	± 0.0125 m	R 0.0
	Total			0.2425 m	U 0.9

Fig. 67 - Les différents composants du mur existant
Source : TOTEM

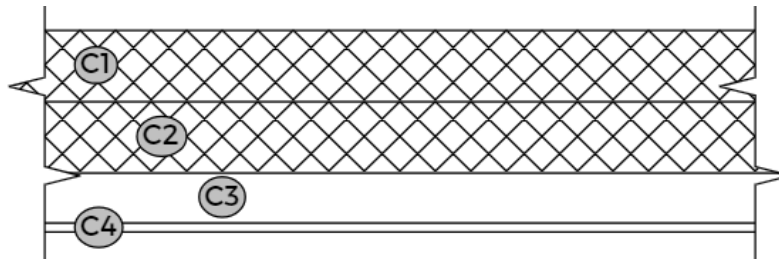


Fig. 68 - Composition du mur rénové
Source : TOTEM

Composant(s)					
EXT	C1	Mur - finition extérieure Revêtement ∞ Panneau Béton armé (100 mm) Existant	≥ 60 ans	± 0.1 m	R 0.0
	C2	Mur - finition extérieure Revêtement ∞ Panneau Béton armé (100 mm) Existant	≥ 60 ans	± 0.1 m	R 0.0
INT	C3	Mur - finition intérieure Traitement du revêtement ∞ Enduit épais Sous-enduit de chanvre Projeté Nouveau	50 ans	± 0.07 m	R 1.0
	C4	Mur - finition intérieure Traitement du revêtement ∞ Films Peinture à la chaux Sur enduit en plâtre Nouveau	10 ans	± 0.002 m	N.A.
Total				0.272 m	U 0.74

Fig. 69 - Les différents composants du mur rénové
Source : TOTEM

Suite à l'identification des diverses contraintes présentes sur la Tour Atlas et des améliorations nécessaires pour optimiser le confort des résidents, des travaux d'isolation ainsi que le remplacement des châssis peuvent être planifiés en parallèle de l'ajout des extensions.

L'une des principales lacunes à adresser concerne l'isolation pratiquement inexistante de l'enveloppe et la mauvaise étanchéité des châssis actuels (fig.66). L'isolant PUR, largement utilisé à partir des années 1950, a été une solution populaire à l'époque. Ces isolants synthétiques ont émergé avec le développement croissant de la production de plastiques, résultant de l'essor de l'industrie chimique et pétrolière. La mousse de polyuréthane, avec sa masse volumique légère et son faible coefficient de conductivité thermique (λ), a été largement adoptée sur le marché (Van de Voorde et al., 2015).

Afin de remédier à ces problèmes, une solution intégrée est envisagée. Tout d'abord, il est envisageable de remplacer les châssis existants, améliorant ainsi l'étanchéité de l'enveloppe du bâtiment. En parallèle, l'application d'un enduit chaux-chanvre à l'intérieur des différents logements pourrait être mise en œuvre pour renforcer l'isolation thermique (fig.68). L'utilisation de l'enduit chaux-chanvre offre l'avantage d'être un matériau écologique, assurant une régulation hygrométrique naturelle, tout en améliorant la performance énergétique globale du bâtiment. Il est crucial de souligner que les travaux d'enduisage doivent être soigneusement planifiés afin de garantir une isolation adéquate sans compromettre l'espace intérieur des logements.

Suite à cette intervention, la valeur U a été réduite de $0.92 \text{ W/m}^2\text{K}$ à $0.74 \text{ W/m}^2\text{K}$. Bien que cette modification ne satisfasse pas encore la norme prescrite de $U = 0.24 \text{ W/m}^2\text{K}$, comme stipulé par le Service public de Wallonie (2021), elle représente néanmoins une amélioration substantielle de l'étanchéité et de l'isolation thermique du bâtiment.

Partie 3 - Les extensions multifonctionnelles

Exemples d'opérations de rénovation intégrant des extensions

Les dispositifs tels les balcons, loggias, terrasses ainsi que les encorbellements, les vérandas, les serres et finalement les verrières et les simples baies vitrées jouent depuis plus d'un siècle un rôle important dans la création des habitations. Ces éléments, connaissent un réel succès aujourd'hui, tant en construction neuve qu'en rénovation d'immeubles collectifs et ce pour diverses raisons liées principalement au confort et à la qualité de vie. Ces dispositifs créent des prolongements visuels ou spatiaux vers l'extérieur du logement. Ils ne permettent de requalifier les apports de lumière naturelle et les espaces habités tout en répondant à d'autres objectifs comme l'augmentation de la surface habitable, la création d'un espace tampon multiusage favorisant la diminution de la consommation d'énergie et une utilisation saisonnière selon les principes bioclimatiques. Ces dispositifs et leur mise en œuvre en rénovation offrent l'opportunité de se mettre à jour par rapport aux normes actuelles en termes de confort thermique et acoustique.

D'après les dires de Christian Moley (2017) , les extensions greffées à l'enveloppe des bâtiments nuisent à l'éclairage naturel des espaces par l'accroissement de la profondeur de l'espace ainsi que le recouvrement des ouvertures de la façade. Néanmoins, deux types de conceptions architecturales diverses tentent à remédier au manque de luminosité dans les espaces transformés par les extensions : les adjonctions ponctuelles et les extensions en bandes continues.

Tout d'abord, on peut citer les ajouts ponctuels d'extensions aux endroits du logement où un ajout supplémentaire de surface est nécessaire. Ainsi, l'infiltration de lumière naturelle est toujours garantie dans les pièces non modifiées. Les adjonctions sont souvent faites aux pièces humides, jugées souvent trop petites et non conformes aux normes actuelles. On peut donc citer plusieurs solutions ponctuelles apportées à divers immeubles des années trente Glorieuses.

Les extensions ponctuelles

Tout d'abord, on peut y citer l'apport d'extensions ponctuelles aux endroits du logement où un ajout de surface supplémentaire est nécessaire. Ainsi, l'infiltration de lumière naturelle est toujours garantie dans les pièces non modifiées. Les adjonctions sont souvent faites aux pièces humides, jugées souvent trop petites et non conformes aux normes actuelles. On peut ainsi analyser plusieurs solutions d'extensions ponctuelles apportées à divers immeubles construits entre 1945 et 1975.

1945

1950

1955



L'immeuble à Bondy



L'immeuble
Sterrenveld



La barre
Bordel



L'immeuble Potiers 2

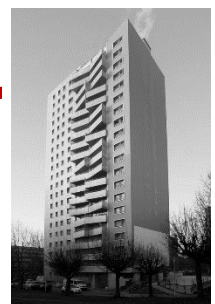
1965

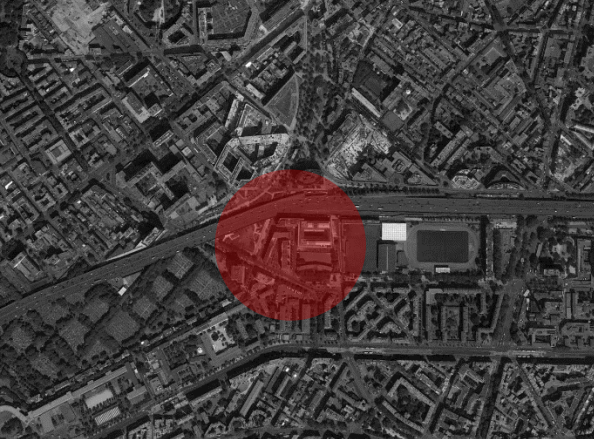


La Rabaterie

1970

La tour 16 Peterbos





modèle 01 La barre Borel

Date - Architecte

1961- Raymond Lopez

Situation

Paris

Nombre de logements

118

Année de rénovation

2015



Fig. 70 - Immeuble avant les travaux de rénovation

Source : Moley, C. (2017). (Ré)concilier architecture et réhabilitation de l'habitat.



Fig. 71 - Immeuble avec les extensions de cuisine et des balcons

Source : Moley, C. (2017). (Ré)concilier architecture et réhabilitation de l'habitat.

Lors de la rénovation de la barre Borel, deux types d'extensions de grande taille ont été ajoutées à savoir un agrandissement de la cuisine ainsi que des balcons au niveau du séjour.

Les extensions de la cuisine ont une surface de 6m² et font partie de l'enveloppe chauffée, ce qui signifie qu'elles sont intégrées à l'espace intérieur de l'appartement. Ces extensions peuvent être ouvertes sur le balcon, qui donne sur le séjour, créant ainsi des espaces de repas conviviaux. Les balcons, quant à eux, ont une surface de 3 à 8m² et sont suffisamment spacieux pour accueillir une table.

L'ensemble des ajouts sont construits en utilisant une structure autoportante en béton et acier (fig.70), fixée aux murs du bâtiment existant pour garantir leur solidité et leur maintenance.

Les extensions de la cuisine sont dotées de fenêtres ouvrables ainsi que d'une porte coulissante, offrant une bonne luminosité et une ventilation adéquate (fig.74). Cependant, il convient de noter que le seuil de la porte vitrée coulissante peut constituer un obstacle au niveau du sol.



Fig. 72 - Chantier de la rénovation

Source : Batiserf, Réhabilitation de 80 logements et construction de 30 logements - Barre Borel R+10 / Paris 17e



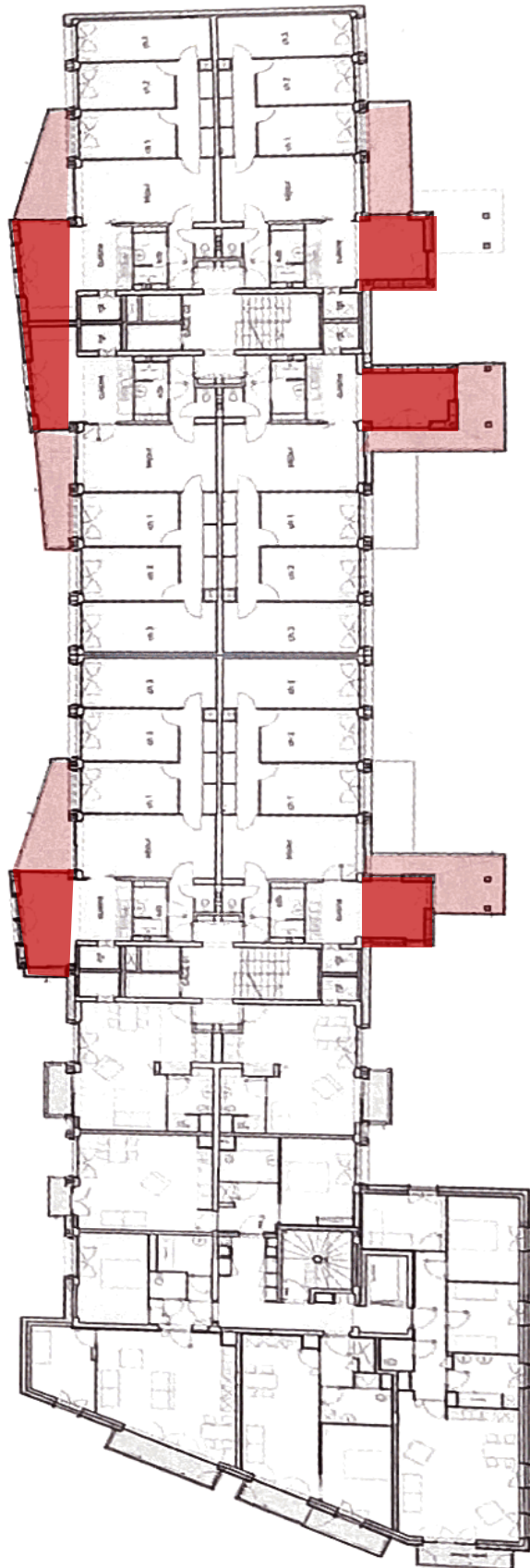
Fig. 73 - L'extension de la cuisine et l'ajout des terrasses

Source : Batiserf, Réhabilitation de 80 logements et construction de 30 logements - Barre Borel R+10 / Paris 17e



Fig. 74 - Intérieur de l'intérieur de l'extension de la cuisine

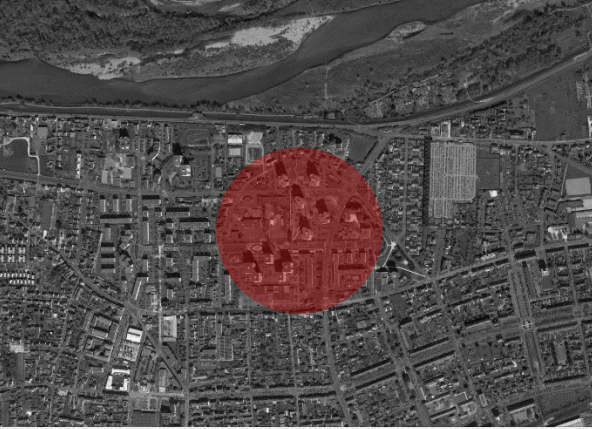
Source : Moley, C. (2017). (Ré)concilier architecture et réhabilitation de l'habitat.



● Extension de la cuisine (6m²)

● Ajout d'une terrasse (3-8m²)

Fig. 75 - Plan d'un étage type
Source : Moley, C. (2017), (Ré)concilier architecture et réhabilitation de l'habitat.



modèle 02 La Rabaterie

Date - Architecte

1967

Situation

Saint-Pierre-des-Corps

Nombre de logements

433

Année de rénovation

2016



Fig. 76 - Immeuble avant les travaux de rénovation

Source : ET demain architecture, Résidence la Rabaterie à Saint-Pierre-des-Corps



Fig. 78 - Ajout de balcons et de jardins d'hiver après la rénovation

Source : Projet Rabaterie, saintpierredescorps.fr

Dans ce projet, une extension est ajoutée à la terrasse extérieure déjà existante, créant une nouvelle relation entre la cuisine et le séjour.

Effectivement, les renforcements existants sont comblés par un ajout de superficie de 16m² par logement, qui se compose à présent d'un balcon et d'un jardin d'hiver, doté de parois coulissantes qui s'ouvrent et qui se ferment selon les besoins des occupants (Groupe Arcane Architectes, n.d). Les coins ajoutés devant les cuisines sont des jardins d'hiver avec des portes coulissantes vitrées, permettant l'ouverture en fonction des saisons (fig.77). Devant les séjours se dressent des balcons de plus petite dimension. On notera des pare-vue en verre translucide qui viennent composer le dispositif.

Au niveau constructif, les extensions sont réalisées avec un plancher en béton qui est soutenu par un système de nouvelles colonnes en béton.

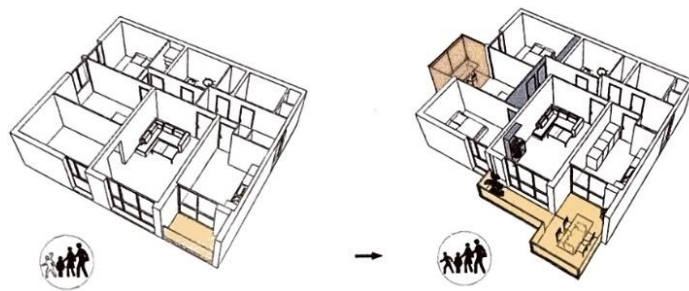


Fig. 77 - Surface supplémentaire apportée par les extensions

Source : Moley, C. (2017). (Ré)concilier architecture et réhabilitation de l'habitat.



Fig. 79 - Les tours La Rabaterie
Source : Groupe Arcane Architectes



Fig. 80 - Vue de la terrasse dans le jardin d'hiver
Source : Groupe Arcane Architectes



Fig. 81 - L'entrée de l'immeuble rénové
Source : Groupe Arcane Architectes



Fig. 82 - Plan type d'un étage
Source : Moley, C. (2017). (Ré)concilier architecture et réhabilitation de l'habitat.

- Extension sous forme d'un jardin d'hiver (8m²)
- Ajout d'une terrasse (7m²)



modèle **03** **L'immeuble à Bondy**

Date - Architecte

1960

Situation

Bondy, France

Nombre de logements

264

Année de rénovation

2009



Fig. 83 - Immeuble garni de de boîtes multifonctionnelles

Source : L'Observatoire Caue,
Requalification d'une barre de logements



Fig. 84 - Immeuble avant la rénovation

Source : L'Observatoire Caue,
Requalification d'une barre de logements

Au lieu de mettre en place des extensions vitrées telles les loggias ou des serres bioclimatiques, l'architecte Laurent Pillaud a pensé des annexes légères en bois, dotées de fenêtres.

Il s'agit de « loggias acoustiques », qui jouent le rôle d'isolation acoustique pour un immeuble implanté à proximité d'une autoroute mais qui apportent également un ajout de surface habitable au logement. Il ne s'agit pas d'un rallongement d'une pièce mais plutôt d'une annexe non chauffée, qui vient s'accoler à la façade existante et non modifiée.

La diminution du bruit à l'intérieur du logement (48-32 décibels) permet une multitude d'occupations telles qu'une chambre de jeu, un coin de lecture mais encore un débarras (Moley, 2017, p.62).

Les extensions sont des modules préfabriqués de 4x1,7x2,6m, assemblés selon le procédé Leno³. Les différentes annexes sont empilées les unes sur les autres sur place, garantissant un montage propre, sans déchets, sur une durée très courte. Ainsi, chaque élément porte celui du dessus. L'ensemble des modules repose sur des fondations en béton (Des loggias en bois valorisent des logements sociaux, n.d.).

Le module préfabriqué est doté d'une fenêtre en PVC double vitrage, qui peut être partiellement ouverte. Ainsi, l'utilisateur peut ouvrir l'espace vers l'extérieur en fonction de ses besoins (Virtual architecture, n.d.).

³ Procédé Leno : panneau de 148mm d'épaisseur en mur porteur et en dalle

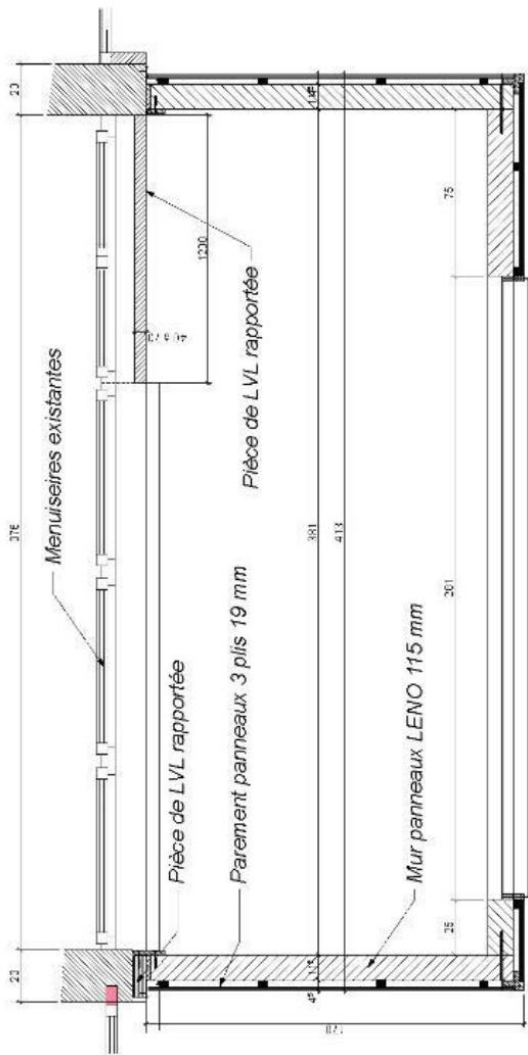


Fig. 85 - Grue avec module préfabriqué

Source : Virtuel architecture, Requalification d'une Cité de 264 logements en 4 immeubles



Fig. 86 - Scénario 1 d'aménagement de l'extension

Source : Virtuel architecture, Requalification d'une Cité de 264 logements en 4 immeubles

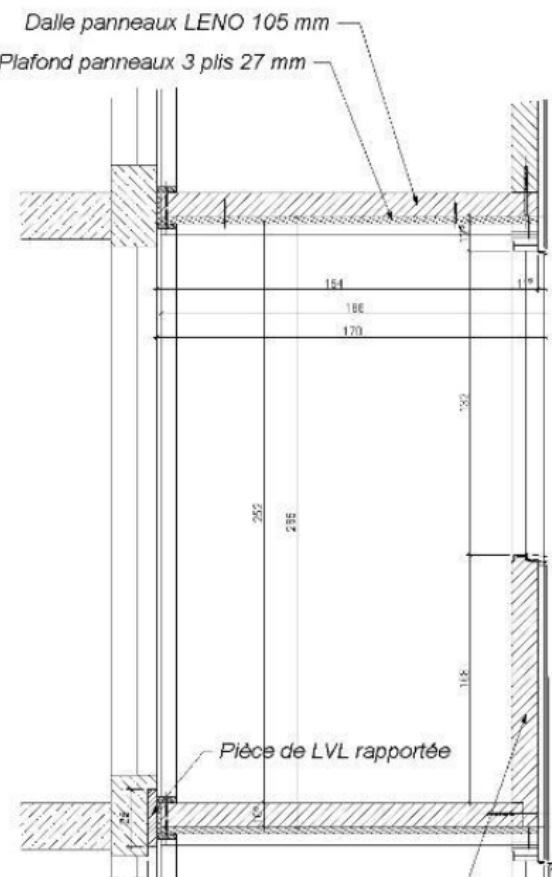


Fig. 87 - Grue avec module préfabriqué

Source : Virtuel architecture, Requalification d'une Cité de 264 logements en 4 immeubles

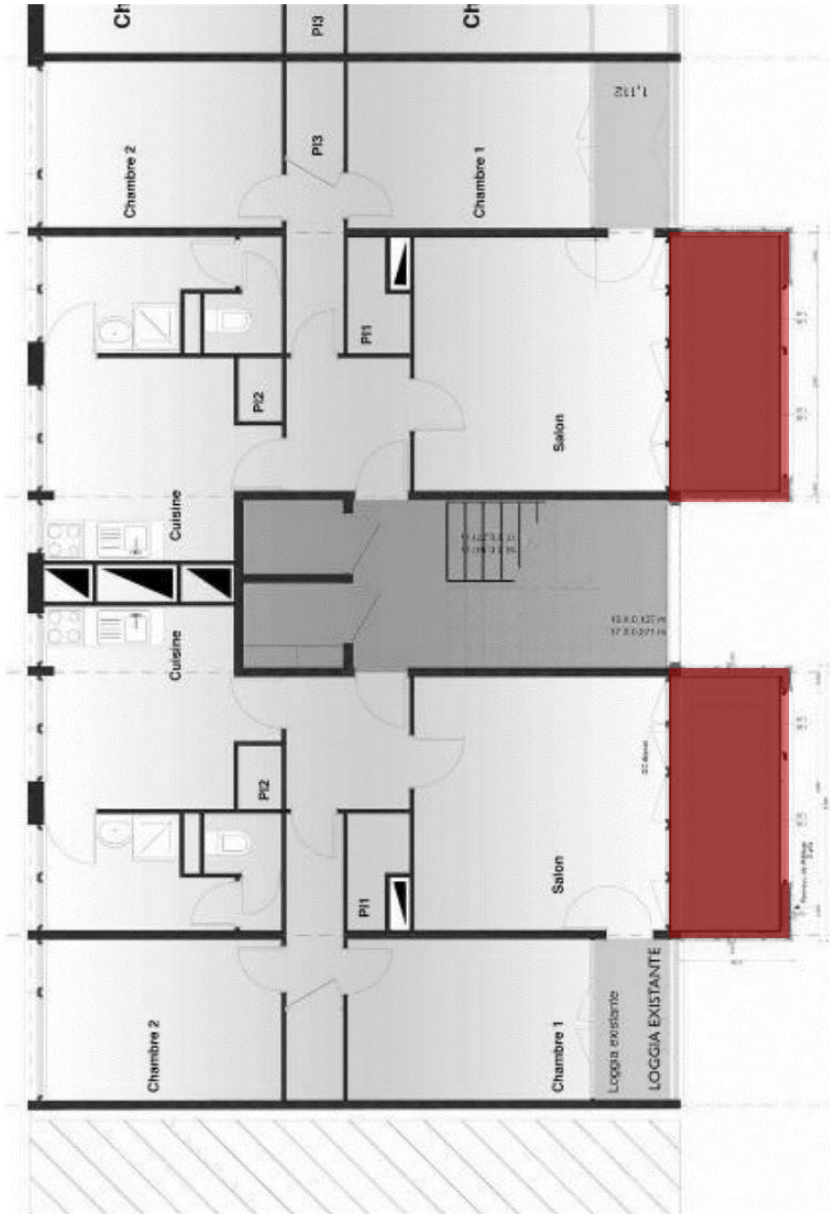


Fig. 88 - Plan étage type
 Source : Modules préfabriqués 3D, Séminaire bâtiment durable

● Extension des espaces non-chauffés (6m²)



modèle 04

L'immeuble Sterrenveld

Date - Architecte

1959

Situation

Bondy

Nombre de logements

60

Année de rénovation

2004



Fig. 89 - Immeuble avant les travaux de rénovation

Source : Wallyn, B (2009), Sustainable Energy Saving in Existing Housing Now



Fig. 90 - Immeuble après ajout de jardins d'hiver

Source : Wallyn, B (2009), Sustainable Energy Saving in Existing Housing Now

Dans le cas de figure du projet Sterrenveld, les architectes Quirynen Jacobs ont conçu des balcons abrités par une façade vitrée, créant ainsi des jardins d'hiver. Par ailleurs, en été, les vitrages peuvent être poussés et les espaces tampon se transforment en balcons.

L'ensemble des extensions correspond à une structure indépendante. L'assemblage de dalles en béton de 2m de profondeur et de colonnes en acier est relié à la structure existante par l'intermédiaire d'ancres fixés chimiquement (fig.92).

Afin de réduire les déperditions énergétiques entre les deux structures, une couche presque continue de panneaux isolants rigides s'étend entre la dalle ajoutée et la dalle existante.

Lors de la rénovation énergétique, les châssis ont été remplacés par des châssis en bois double vitrage avec un revêtement en aluminium (Belgian Science Policy, n.d.).

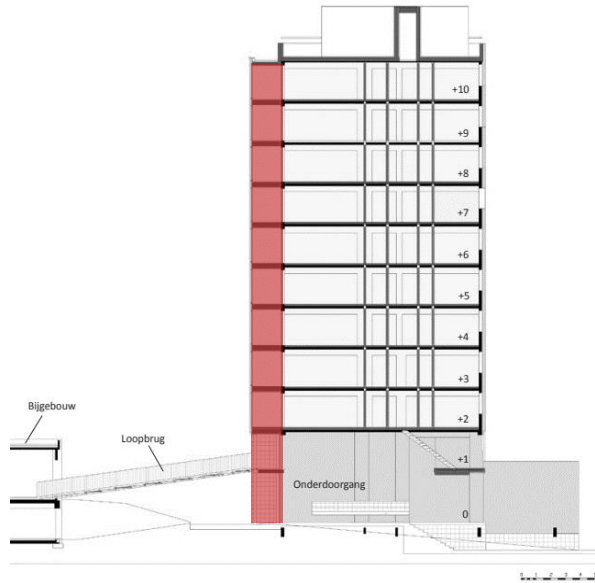


Fig. 91 - Coupe montrant les extensions
 Source : Passiefhuis-Platform vzw , LEHR, Low Energy Housing Retrofit



Fig. 92 - Connexion extension et bâtiment existant
 Source : Passiefhuis-Platform vzw , LEHR, Low Energy Housing Retrofit

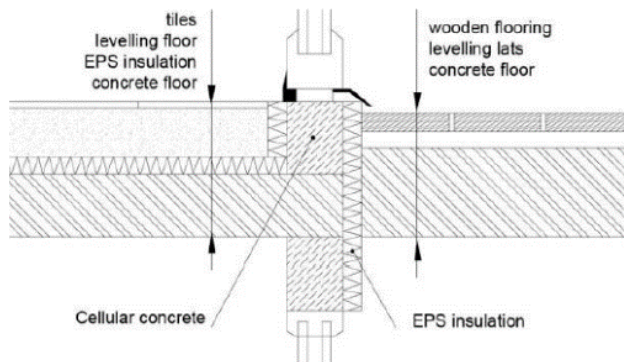
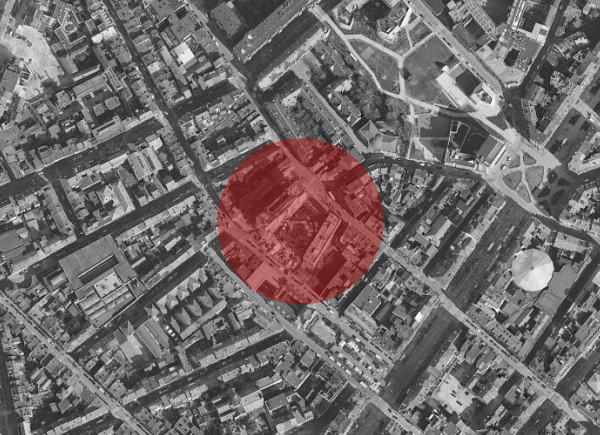


Fig. 93 - Détail ancrage de l'extension
 Source : Passiefhuis-Platform vzw , LEHR, Low Energy Housing Retrofit



Fig. 94 - Plan étage type
Source : Passiefhuis-Platform vzw , LEHR, Low Energy Housing Retrofit

● Extension sous forme de jardin d'hiver (8m²)



modèle 05

L'immeuble Potiers 2

Date - Architecte

1965

Situation

Bruxelles

Nombre de logements

57

Année de rénovation

2022



Fig. 95 - Immeuble avant la rénovation

Source : Société du logement de la région de Bruxelles-Capitale, Potiers : Rénovation lourde de 56 logements



Fig. 96- Ajout des extensions sous forme de boîtes habitables

Source : Société du logement de la région de Bruxelles-Capitale, Potiers : Rénovation lourde de 56 logements

L'immeuble de logements sociaux qui se dresse dans la rue des Potiers a bénéficié d'extensions sous forme de « boîtes » préfabriquées et de terrasses.

Les ajouts se compose d'une structure métallique et de panneaux en CLT, le tout accroché à la façade de l'immeuble existant. Un ajout généreux de surface habitable est ainsi assuré sur une hauteur de 2 étages, servant ainsi d'annexe pour un ou plusieurs appartements. L'extension peut accueillir une chambre généreuse ou encore un séjour, pouvant profiter de différentes orientations. De plus, une terrasse est ajoutée à la cuisine bénéficiant d'une bonne orientation.

La rénovation a permis de rendre le bâtiment « basse énergie » grâce à une isolation en XPS et en laine de roche ainsi que le placement de châssis en bois double vitrage, revêtus d'un capot en aluminium.

Le niveau entre l'espace existant et l'espace ajouté n'est pas le même. Effectivement, afin d'accéder à la nouvelle pièce, quelques marches ont été implantées afin de franchir les poutres inversées, appartenant à la structure existante de l'immeuble.



Fig. 97 - L'immeuble Potiers 2
Source : Wallonie-Bruxelles Architectures



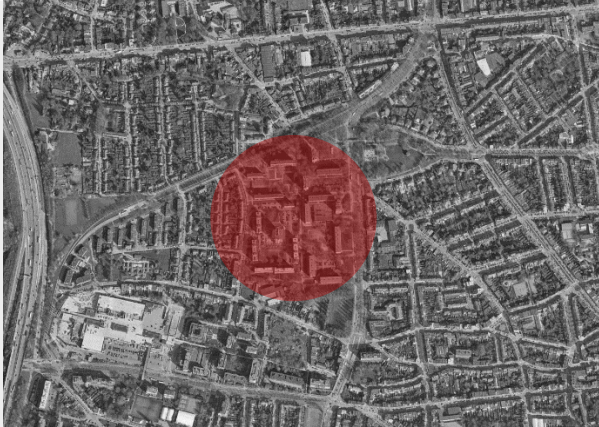
Fig. 98 - Assemblage extension-bâtiment existant
Source : Wallonie-Bruxelles Architectures



● Extension de l'espace chauffé (8m²)



Fig. 99 – Plan étage type
Source : Pierre Blondel Architectes



modèle
Tour 16 Peterbos 06

Date - Architecte

Années 60

Situation

Bruxelles

Nombre de logements

116

Année de rénovation

2016

Lors de la rénovation de l'enveloppe de la tour 16 à Bruxelles, deux cages d'escaliers ont été délocalisées afin de laisser place à de nouvelles terrasses (Conseil de l'administration, 2016).

Les façades de l'immeuble étaient déjà munies de balcons. Ces derniers sont intégrés dans les appartements afin de proposer un supplément de surface.

Une structure indépendante en métal est pensée pour les nouvelles terrasses, qui sont fixées à la structure existante de l'immeuble par l'extérieur. De cette manière, les habitants ont pu continuer à habiter leurs appartements lors des travaux.

Les anciens châssis sont également remplacés afin de garantir une baisse de consommation d'énergie pour chaque logement. Des châssis double vitrage très performant sont installés (Conseil de l'administration, 2016).



Fig. 100 - Immeuble avant les travaux de rénovation

Source : Rapport annuel, Comensia



Fig. 101 - Immeuble avec ajouts de balcons

Source : P&P Architectes

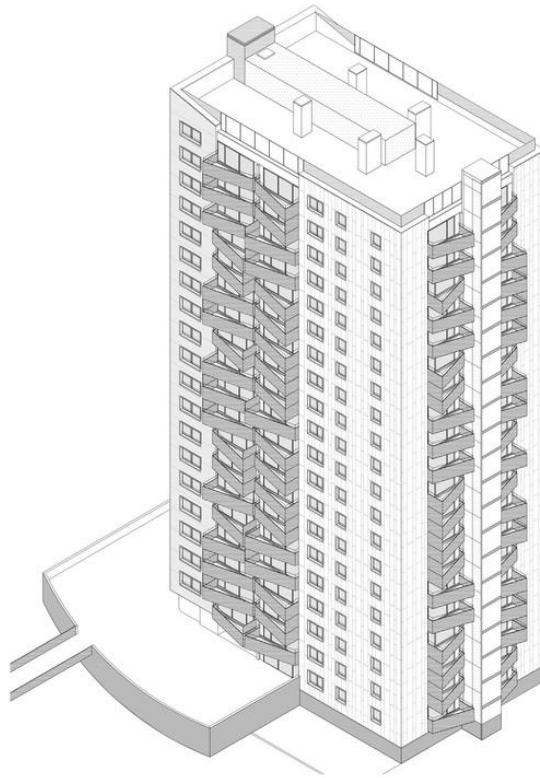


Fig. 102 - Axométrie
Source : P&P Architectes



Fig. 103 - Les extensions de la tour Peterbos
Source : P&P Architectes

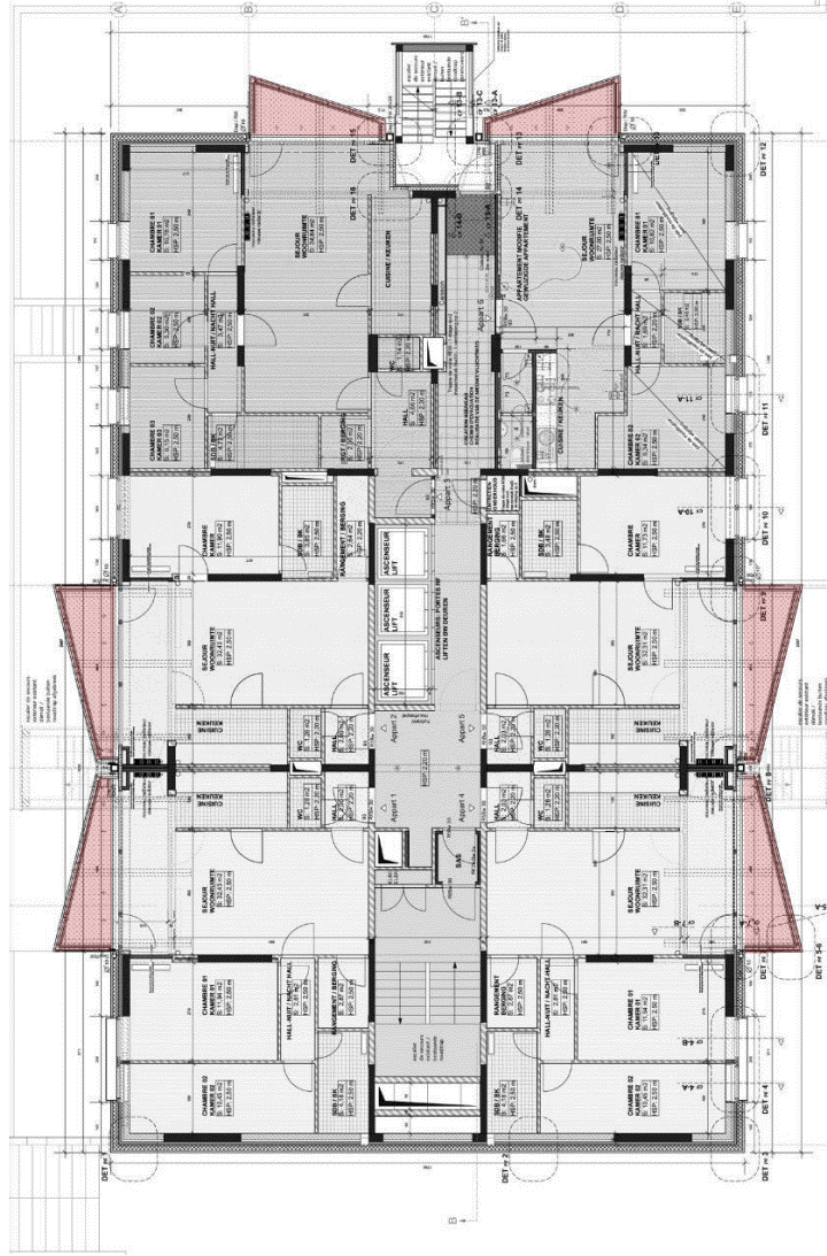


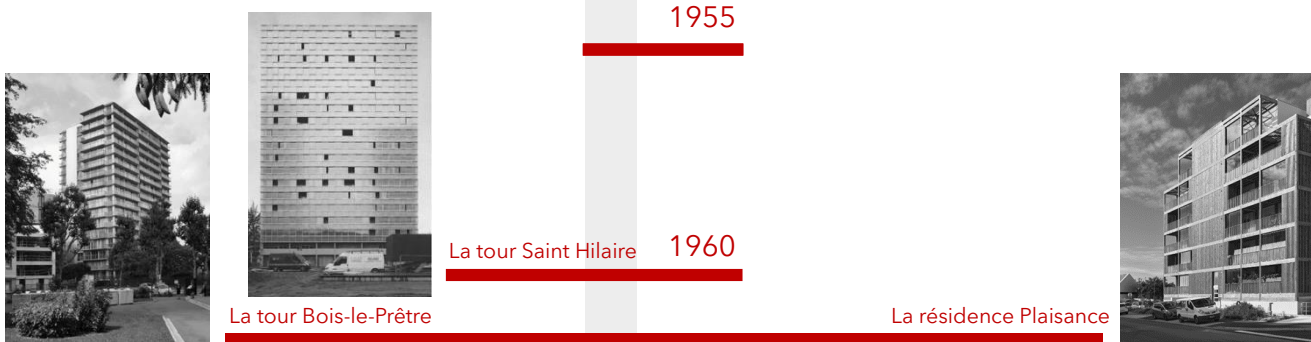
Fig. 104 - Plan étage type
 Source : La sécurité incendie dans le cadre de rénovations à Bruxelles; Séminaire bâtiment durable

● Extension sous forme de jardin d'hiver (8m²)

Les extensions en bandes continues

L'autre conception citée auparavant est celle de la « façade épaisse », des extensions en bandes continues qui viennent recouvrir les façades de l'immeuble à rénover énergétiquement. Michel Rémon affirme que « la façade épaisse, c'est d'abord la mémoire retrouvée de toute la mise en scène engendrée par le percement des gros murs porteurs de l'architecture des siècles précédents, qu'elle soit noble ou ordinaire ».

Les ajouts de bandes continues permettent un principe d'isolation thermique autre que la mise en place d'une ITE . L'isolation se fait par une lame d'air créée entre deux façades, l'une existante, l'autre nouvelle. Ce nouveau système d'isolation permet une augmentation des surfaces habitables ainsi que la création d'un espace « semi-chauffé », pouvant être occupé, en fonction des saisons. L'espace en question accueille donc au fil des changements de températures extérieures, des activités différentes. L'utilisation de larges surfaces vitrées en façade permet, malgré le dédoublement des façades, un apport de lumière naturelle des différentes pièces transformées.





modèle **07**
La tour Bois-le-Prêtre

Date - Architecte
1962 - Raymond Lopez
Situation
Paris, France
Nombre de logements
100
Année de rénovation
2011



Fig. 105 - Tour avant les travaux de rénovation
Source : Druot F., Lacaton A., Vassal J-P.,
Transformation de la tour le Prêtre, Paris 17



Fig. 106 - Extensions ajoutées après la
rénovation
Source : Druot F., Lacaton A., Vassal J-P.,
Transformation de la tour le Prêtre, Paris 17

La tour Bois-le-Prêtre est un exemple marquant d'adjonctions continues et vitrées en façade. Il s'agit d'une rénovation énergétique qui a permise d'ajouter deux types d'extensions : des modules habitables permettant un agrandissement des espaces de vie, des cuisines ou encore des chambres sur les façades Nord et Sud mais également des modules bioclimatiques, des jardins d'hiver associés à un balcon orientés Ouest et Est.

Une structure indépendante en acier de 7,5m d'entre-axe et de 3,15m de profondeur est utilisée pour les jardins d'hivers associés aux balcons. Les différents modules préfabriqués sont empilés les uns sur les autres sur l'ensemble des deux façades (Moley, 2017). La surface supplémentaire ajoutée est de 35,6 m² en moyenne par logement, avec 7,5 m² (7,5m x 1m) pour le balcon et 15 m² (7,5m x 2m) pour l'espace tampon.

L'ajout des espaces tampons a permis de supprimer l'ancienne façade (non porteuse) et de la remplacer par une façade dotée de grandes ouvertures. 3 rails de vitrages permettent un accès généreux vers l'extérieur. Des panneaux en polycarbonate assurent l'ouverture et la fermeture des vérandas en fonction du climat. Afin de garantir un apport suffisant de lumière dans le logement, chaque appartement est équipé d'un garde-corps vitré, laissant pénétrer la lumière naturelle. Pour éviter toute surchauffe des espaces habités, des rideaux argentés, filtrant les rayons, sont positionnés derrière les pans vitrés (Koller, 2003).



Fig. 107 - Jardin d'hiver de la tour Bois-le-Prêtre
Source : Philippe Ruault



Fig. 108 - Jardin d'hiver de la tour Bois-le-Prêtre
Source : Philippe Ruault

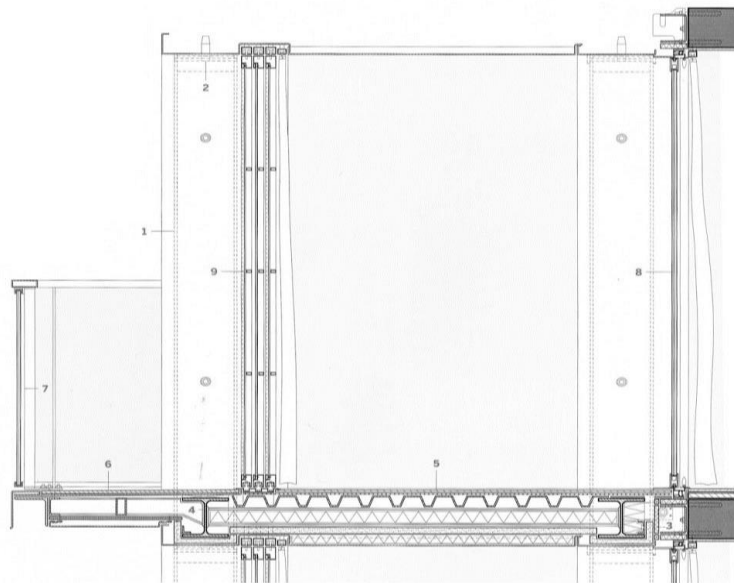
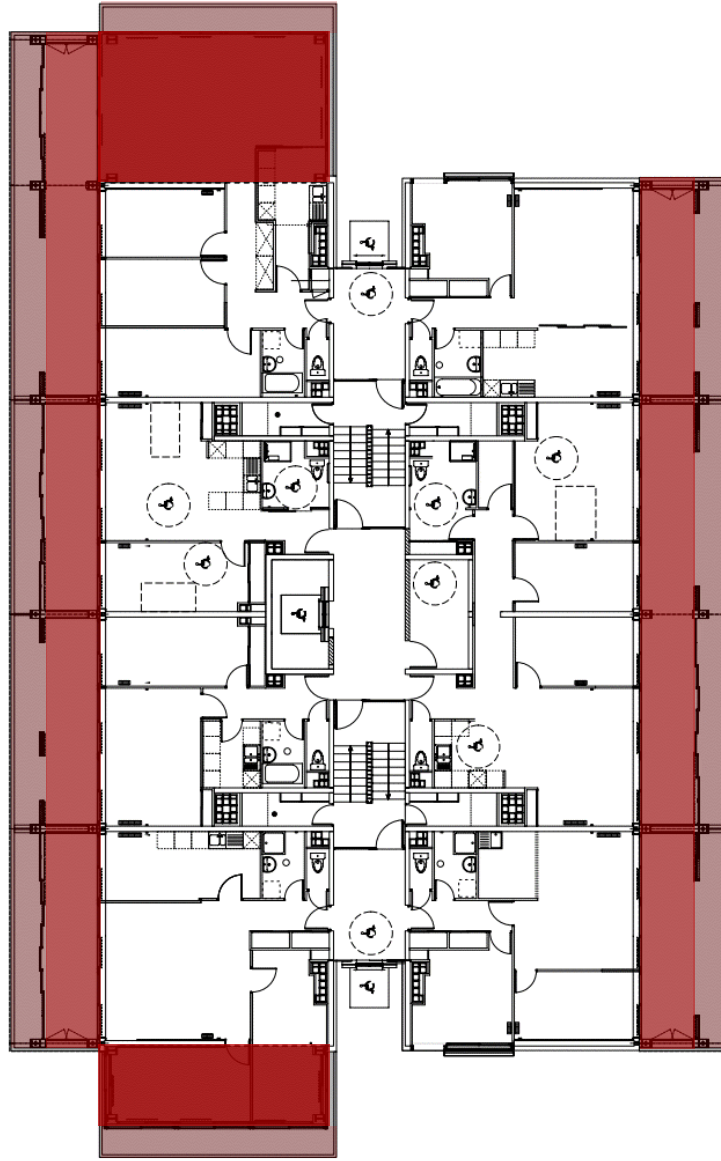
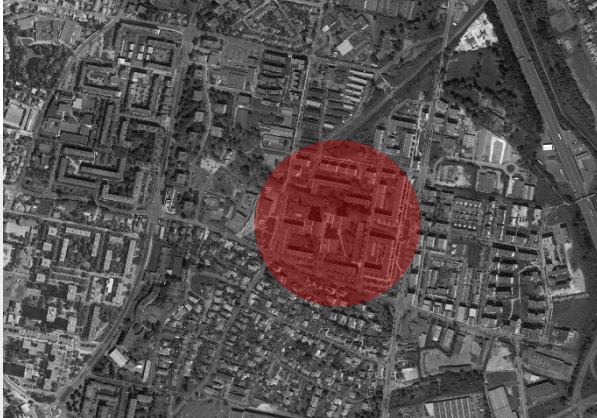


Fig. 109 - Détail d'ancrage de l'extension à la structure existante
Source : Druot et Lacaton & Vassal



- Extension de l'enveloppe chauffée
- Ajout d'un espace tampon (15 m²)
- Ajout d'une terrasse (7,5 m²)

Fig. 110 - Plan étage type
Source : Lacaton&Vassal



modèle **08**
La tour Saint-Hilaire

Date - Architecte

1960

Situation

Lormont

Nombre de logements

387 (pour 3 tours)

Année de rénovation

2015



Fig. 111 - Immeuble avant la rénovation énergétique

Source : Lanoo, J. (2015), LAN - Dossier de Presse

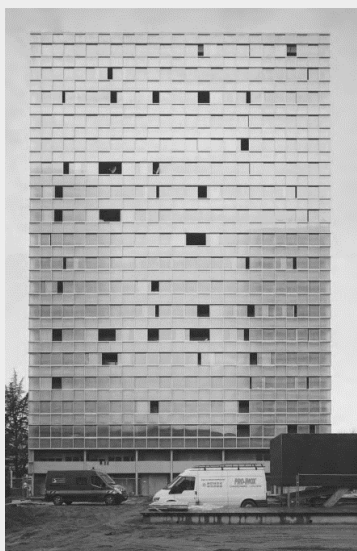


Fig. 112 - Ensemble de loggias fixées à la structure existante

Source : Lanoo, J. (2015), LAN - Dossier de Presse

Une réhabilitation de la tour a été entreprise en redoublant la façade. Dans ce projet, les extensions composent une façade épaisse (Moley, 2017), contrairement à l'exemple des architectes Lacaton et Vassal précédemment cité.

Effectivement, des balcons fermés par des panneaux en polycarbonate permettent d'agrandir l'espace intérieur de 93 à 160cm de largeur, soit une augmentation de la superficie de 5m² par logement (LAN Architecture, 2015). Ces fines vérandas sont assemblés en porte-à-faux à la structure existante de la tour Lormont. Les loggias améliorent non seulement les qualités acoustiques du bâtiment mais jouent également un rôle favorable dans l'isolation thermique de l'enveloppe. Effectivement, les jardins d'hiver ne font pas partie du volume chauffé mais servent d'espace intermédiaire entre l'extérieur et l'enveloppe chauffée.

Des ouvrants coulissants, situés au niveau des parois et fixés à une allège nouvellement conçue en béton préfabriquée, permettent de ventiler naturellement l'espace ajouté afin d'éviter toute surchauffe pendant les belles saisons (LAN Architecture, 2015). Des stores sont intégrés afin de garantir la protection du soleil.

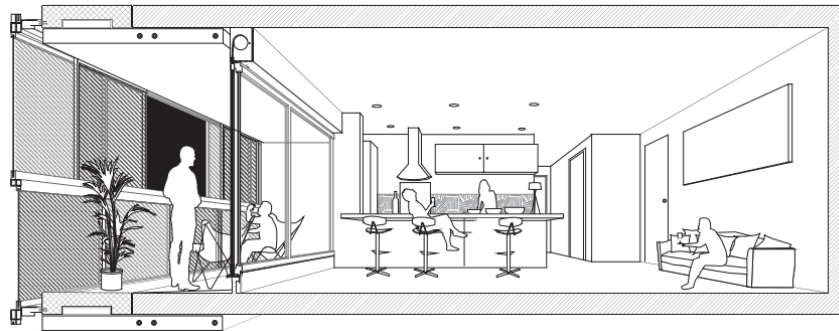
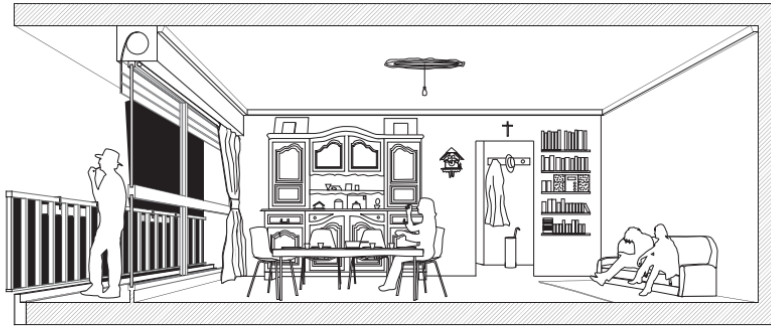


Fig. 113 - Coupe Avant/Après
 Source : LAN Architecture, Dossier de presse



Fig. 114 - Différents scénarios d'occupation
 Source : LAN Architecture, Dossier de presse

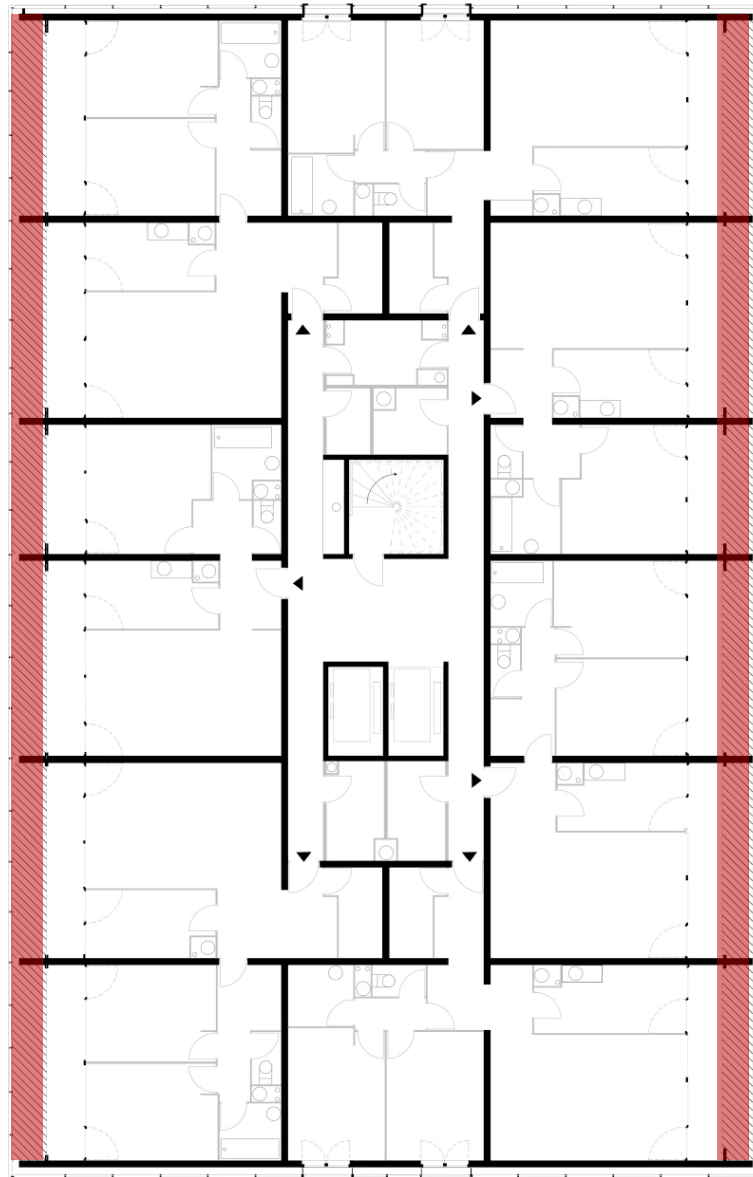
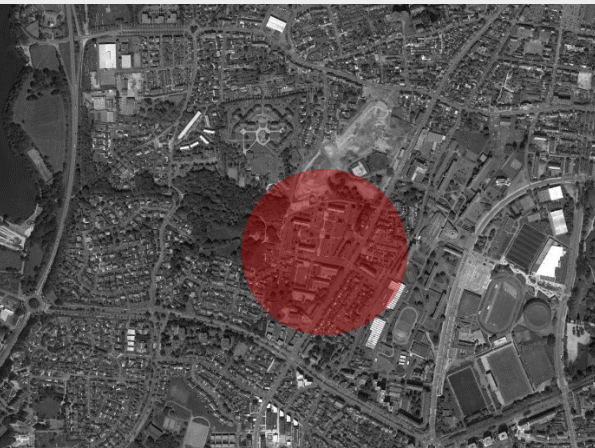


Fig. 115 - Plan étage type
Source : Architectura Viva

● Double peau (5m²)



modèle **09**
La résidence Plaisance

Date - Architecte

1960

Situation

Lormont

Nombre de logements

387 (pour 3 tours)

Année de rénovation

2015



Fig. 116 - Immeuble avant les travaux pour l'installation d'extensions
Source : Ouest France



Fig. 117 - Façade complétée avec les terrasses et jardins d'hiver
Source : Agence Jbq

Avant la rénovation de la Résidence Plaisance, chaque logement de l'immeuble était déjà doté d'une petite terrasse. Lors des travaux de rénovation, l'installation d'un ascenseur en façade a permis d'ajouter à chaque appartement une extension de surface d'une largeur correspondant à la largeur de l'ascenseur. Ainsi se dressent aujourd'hui, sur l'ensemble de la façade Ouest, des terrasses et des jardins d'hiver.

L'ensemble des extensions est soutenu par une structure en ossature bois autoportante. Le jardin d'hiver offre une surface de 8,25m² et la terrasse une surface de 17,25m². L'espace tampon est soit en connexion avec le séjour ou alors avec la cuisine. Ce dernier peut s'ouvrir par des parois vitrées coulissantes, agrandissant ainsi la terrasse extérieure. Afin de garantir la sécurité des occupants, des garde-corps en acier sont fixés à la structure porteuse.



Fig. 118 - La structure indépendante des extensions
Source - Agence Jba



Fig. 119 - Espace tampon
Source : Agence Jba

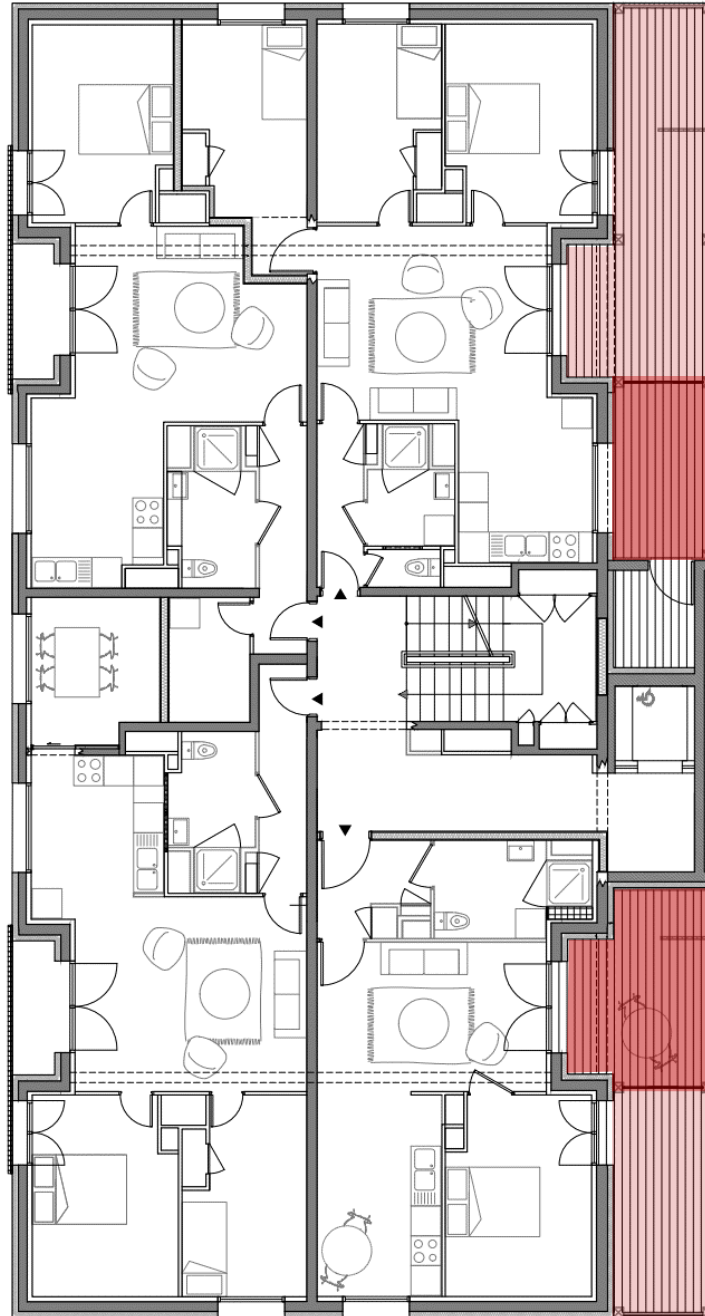


Fig. 120 -Plan étage type
Source : Panorama - Des réalisations en bois

- Extension sous forme d'un jardin d'hiver (8,25m²)
- Ajout d'une terrasse (17,25m²)

Tableau synoptique des extensions

L'objectif fondamental de ce tableau de synthèse est d'identifier et d'analyser de manière exhaustive les caractéristiques inhérentes aux diverses extensions en vue de déterminer la combinaison d'extensions optimale qui répondra aux exigences du cas d'étude spécifique. L'objectif est de résoudre un maximum de problèmes et de satisfaire les besoins identifiés en adoptant une extension à multifonctionnalité élevée. Parallèlement, ce tableau de synthèse s'érige en outil de comparaison des différentes extensions au moyen d'une série de critères variés, destinés à mettre en lumière leurs atouts, leurs vulnérabilités et les opportunités liées à leurs caractéristiques spatiales, architecturales, en termes de stabilité, de confort, et enfin, de contributions.

Méthodologie de conception du tableau récapitulatif

Les critères inclus dans le tableau comparatif sont issus d'une compilation des résultats des analyses des extensions ponctuelles et en bandes continues déjà mises en œuvre dans divers projets. Après avoir effectué ces analyses, les critères ont été regroupés en cinq catégories principales pour permettre une comparaison approfondie des différentes extensions :

1. Les critères en relation avec les caractéristiques spatiales et architecturales, la mise en œuvre, ainsi que la stabilité de l'extension.
2. Les critères axés sur la fonctionnalité de l'extension ajoutée.
3. Les critères liés aux contributions apportées par les différentes extensions.
4. Les critères associés à la spatialité qu'offre chaque extension.
5. Les critères relatifs au confort qu'apporte l'extension à un espace donné.

Pour une meilleure précision, des critères descriptifs supplémentaires ont été ajoutés à chaque catégorie. Ces informations additionnelles sont essentielles pour obtenir une vision plus détaillée des différentes extensions, ce qui permettra de déterminer le type d'extension qui présente le plus haut degré de multifonctionnalité.

Constatations - Analyse comparative

	Profondeur en m	Extension en porte-à-faux	Extension avec structure indépendante	Raccord avec la façade existante
La barre Borel	1-3			Vissée à la façade existante
	3-5		✓	
La Rabaterie	1-3		✓	Vissée à la façade existante
	3-5			
L'immeuble Bondy	1-3		✓	Pluggée à la façade existante
	3-5			
L'immeuble Sterrenveld	1-3		✓	Ancrages fixés chimiquement
	3-5			
L'immeuble Potiers 2	1-3			Suspendu à la façade existante par l'intermédiaire de 2 points fixés en pied, scellés avant la pose de la boîte et deux points mobiles en tête pour l'ajustement de la boîte
	3-5	✓		
La tour 16 Peterbos	1-3		✓	Vissée à la facade existante
	3-5			
La tour Bois-le-Prêtre	1-3			Vissée au niveau du plancher existant
	3-5		✓	
La tour Saint-Hilaire	1-3	✓		Assemblage en porte-à-faux à la structure existante
	3-5			
La résidence Plaisance	1-3		✓	Vissée à la facade existante
	3-5			

Cette partie du travail permet la discussion et la comparaison de différents facteurs selon les différentes catégories reprises dans le tableau récapitulatif des extensions. La mise en évidence des points faibles et forts des différentes extensions analysées permettra de choisir celle qui sera par la suite adaptée/interprétée sur le cas d'étude, la tour Matcha, à Droixhe.

De plus, des propositions d'améliorations des extensions seront formulées, notamment sur la multifonctionnalité des espaces ajoutés.

Caractéristiques architecturales et spatiales, mise en œuvre et stabilité

Dans le tableau ci-contre, la profondeur des extensions des différents projets est mise en relation avec la structure ainsi que la fixation des ajouts.

Les extensions de bâtiments anciens offrent une opportunité unique de conjuguer tradition et modernité tout en augmentant l'espace habitable. Cependant, il existe deux approches distinctes lorsqu'il s'agit d'ajouter des extensions à une structure existante : la structure indépendante, autoportante et celle du greffage la structure en porte-à-faux.

Dans la plupart des cas repris dans le tableau ci-dessus, les extensions sont réalisées en adoptant une structure indépendante, laquelle permet une stabilité accrue sans perturber l'intégrité du bâtiment initial. Cela se reflète dans les profondeurs plus longues (3-5m) des extensions indépendantes, qui offrent une plus grande surface habitable. Elles représentent 2/3 des cas d'études antérieurement analysés. En comparaison, les extensions greffées, caractérisées par des profondeurs moins longues (1-3m), s'intègrent directement à la structure existante, limitant ainsi les fonctions qu'elles peuvent accueillir. Il est donc important de noter que les extensions greffées ne dépassent généralement pas les 3 mètres, afin de préserver la stabilité du bâtiment initial. Comme on peut le constater dans le tableau ci-dessus, la majorité des extensions sont raccordées par l'interface d'un dispositif vissé à la façade/structure existante. Néanmoins, il est intéressant de constater d'autres manières de fixer l'espace supplémentaire au bâtiment existant comme l'ancrage chimique pour l'immeuble d'appartements Sterrenveld ainsi que les modules suspendus au niveau de l'enveloppe de l'immeuble Potiers II à Bruxelles.



















La différence de profondeur des divers ajouts influence la variété d'occupations que chaque type d'extension peut accueillir. Les extensions indépendantes offrent un large éventail de possibilités, tandis que les extensions greffées sont plus limitées dans leurs fonctions. Ce point sera discuté en détail dans le prochain point.

Pour conclure, une hypothèse peut donc être soumise que la structure porteuse des bâtiments anciens n'a pas été conçue pour supporter des charges supplémentaires, ce qui expliquerait certains problèmes de structure rencontrés avec la manière de construire de l'époque.

Les principaux matériaux utilisés

Les matériaux prédominants employés pour assurer le soutien des extensions sont l'acier et le béton. Ces choix résultent de leur résistance structurelle remarquable, ainsi que de leur capacité avérée à résister efficacement au feu.

	La barre Borel	La Rabaterie	L'immeuble Bondy	L'immeuble Sterrenveld	L'immeuble Potiers 2	La tour 16 Peterbos	La tour Bois-le-prêtre	La tour Saint-Hilaire	La résidence Plaisance
Verre									
Bois			✓						✓
Acier	✓			✓	✓	✓	✓		✓
Béton	✓	✓	✓	✓			✓	✓	
Polycarbonate							✓	✓	
CLT					✓				

	La barre Borel		La Rabaterie		L'immeuble de Bondy		L'immeuble Sterrenveld		L'immeuble Potiers 2		La Tour 16 Peterbos		La tour Bois-le-Prêtre		La tour Saint-Hilaire		La résidence Plaisance	
																		
Jardin d'hiver			✓	✓			✓	✓					✓	✓	✓	✓	✓	✓
Balcon		✓		✓								✓		✓				✓
Usage multiple	✓	✓			✓	✓			✓	✓								

Fonctionnement et confort des extensions ajoutées

Les fonctions d'usage

Parmi les différentes fonctions des extensions, deux éléments se distinguent particulièrement dans ce tableau: le jardin d'hiver et le balcon/terrasse. Ces espaces permettent une transition harmonieuse entre l'intérieur et l'extérieur, offrant ainsi aux résidents la possibilité de profiter pleinement de la lumière naturelle et du paysage environnant.

Le jardin d'hiver est conçu pour une utilisation tout au long de l'année, mais il n'est pas destiné à être utilisé comme espace habitable à proprement parler. En effet, cette extension n'est pas intégrée à l'enveloppe chauffée des immeubles, ce qui ne permet pas d'offrir le confort thermique suffisant en hiver. Pour maintenir une température adéquate sans recourir à un système de chauffage, il est essentiel de favoriser des apports solaires importants. Malgré cela, le jardin d'hiver peut être utilisé avec succès pour différentes fonctions annexes au logement ne nécessitant pas des températures élevées et notamment pour l'hivernage des plantes, leur offrant ainsi un environnement propice à leur survie durant les mois les plus froids.

L'isolation de l'extension est souvent absente dans les différents projets analysés. Effectivement, isoler des immeubles d'après-guerre n'est pas simple à cause de la présence de multiples ponts thermiques. Globalement, les extensions n'appartiennent pas au volume chauffé.

En somme, l'ajout de surfaces supplémentaires dans une habitation offre diverses possibilités d'utilisation tout au long de l'année, à l'exception des balcons et des terrasses, qui sont principalement exploités pendant les périodes les plus chaudes.

L'ouverture de l'extension vers l'extérieur et l'intérieur

Quant aux ouvertures, elles sont généreuses sur l'ensemble des projets étudiés. Cette caractéristique s'explique par le fait que l'ajout d'extensions entraîne une augmentation de la profondeur des espaces existants, entraînant une perte d'apport de lumière naturelle dans les zones les plus éloignées des façades. Pour remédier à cela, les façades des extensions, notamment celles des jardins d'hiver, sont toutes vitrées, favorisant ainsi l'entrée de lumière ainsi que l'exploitation des apports solaires. Les apports solaires importants permettent également de réchauffer naturellement les espaces.

L'ouverture sur le logement joue également un rôle important dans l'éclairage de l'habitation. Ainsi, ces ouvertures sont soit complètes, soit ponctuelles avec une séparation par l'intermédiaire d'une porte. Il est à noter que la solution d'ouverture complète sur le logement laisse pénétrer plus de lumière naturelle dans l'espace et permet ainsi d'éviter des logements trop sombres.

Quelles améliorations pour ces extensions ?

Lors de la réalisation du tableau récapitulatif des extensions analysées, un manque de plusieurs dispositifs est mis en évidence.

La protection du logement contre la chaleur

Un autre point à noter est le manque généralisé de dispositifs de protection solaire tant dans la construction d'origine des immeubles que dans les propositions d'extensions. Or, ces déficits sont importants à prévoir dans les diverses extensions afin d'optimiser leur utilisation. De ce fait, ces éléments pourront être envisagés au niveau des nouvelles extensions appliquées au cas d'étude de la plaine de Droixhe.

Installation d'équipements techniques

En étudiant les divers projets d'extensions, on constate qu'aucun équipement moderne tel que les dispositifs d'eau, d'électricité et de ventilation mécanique n'est installé dans les extensions. Cela renforce la théorie selon laquelle ces ajouts se concentrent principalement sur l'expansion de l'espace habitable sans introduire de services ou fonctions supplémentaires. Un aspect intéressant qui ressort de ces études est l'absence de locaux dédiés aux déchets et/ou au stockage dans les extensions. (lien avec théorie, état de l'art).

Conclusion

Initialement, les immeubles d'appartements d'Après-Guerre étaient érigés pour répondre en premier lieu à des impératifs socio-économiques pressants inhérents à cette période. Ces structures représentaient alors une avancée significative visant à loger rapidement une population nombreuse. Cependant, les réalités sociales et environnementales actuelles diffèrent de celles d'hier. En parallèle à la crise écologique actuelle, qui incite à la rénovation des constructions existantes dépassées et non conformes aux normes contemporaines, les modes d'occupation des logements sont à reconsidérer, en particulier depuis la pandémie de Covid-19 en 2020. En effet, cette pandémie a mis en lumière les inégalités en matière de logement, soulignant la nécessité d'une approche novatrice.

Effectivement, la réforme bruxelloise Good Living a été mise en place pour établir de nouvelles règles d'urbanisme concernant les espaces publics et les structures bâties. Ainsi, le nouveau Règlement Régional d'Urbanisme (RRU) rend désormais obligatoire l'accès à un espace extérieur dans chaque unité d'habitation. Cette initiative, adaptée à la densité urbaine de Bruxelles, pourrait servir de modèle pour d'autres villes.

L'analyse des caractéristiques architecturales, spatiales, de mise en œuvre, et de stabilité révèle deux approches distinctes pour l'ajout d'extensions : la structure indépendante et la structure en porte-à-faux. La prédominance des extensions

indépendantes dans les cas étudiés souligne leur stabilité accrue, avec des profondeurs plus importantes offrant une surface habitable plus étendue. En revanche, les extensions greffées, bien que limitées en profondeur, présentent une intégration directe à la structure existante. Ces constats suggèrent une hypothèse selon laquelle la structure porteuse des bâtiments anciens n'était pas initialement conçue pour supporter des charges supplémentaires. À titre d'exemple, l'immeuble Sterrenveld met en œuvre une structure indépendante.

En ce qui concerne les matériaux utilisés, l'acier et le béton prédominent, avec une considération particulière pour la résistance au feu, essentielle dans des immeubles de grande hauteur. Cependant, l'isolation des extensions est souvent absente, en raison des défis liés aux ponts thermiques dans les immeubles d'après-guerre.

L'examen des fonctions d'usage met en évidence la prédominance du jardin d'hiver et du balcon/terrasse, chacun offrant des avantages spécifiques en termes d'utilisation tout au long de l'année. Cependant, l'absence d'isolation dans les extensions limite leur intégration au volume chauffé.

Concernant les ouvertures vers l'intérieur et l'extérieur du logement, leur générosité est justifiée par la nécessité de compenser la perte de lumière naturelle due à l'extension des espaces existants. Les dispositifs de protection solaire, cependant, sont souvent négligés lors des rénovations. Des exemples tels que la barre Borel et le projet du bureau Lacaton&Vassal, qui intègrent des ouvertures généreuses et des protections solaires, illustrent cette approche.

En envisageant des améliorations, il est essentiel de considérer la multifonctionnalité des espaces ajoutés, ainsi que l'intégration de dispositifs de protection solaire pour optimiser le confort. De plus, l'ajout d'équipements techniques modernes, tels que l'eau, l'électricité, et la ventilation mécanique, peut accroître l'utilité des extensions en introduisant des services supplémentaires.

Partie 4 : Une extension multifonctionnelle adaptée au cas d'étude

SWOT Analyse



Forces

Spatialité

- Les pièces de vie profitent de vues dégagées et de lumière naturelle.

Bio-climat/ Confort

- En été, toutes les façades profitent des apports solaires au moins une fois dans la journée. Par étage, 5 des 6 logements sont ensoleillés.
- 4 de 6 logements profitent d'une double orientation ; seuls deux logements par étage sont mono-orientés.

Structure/Stabilité

- La notion de plan libre : Les murs intérieurs ne sont pas des murs porteurs. De ce fait, des aménagements intérieurs sont possibles.
- Chaque logement est doté de balcons extérieurs.



Faiblesses

Spatialité

- Les espaces humides n'ont pas de lumière naturelle et ne sont pas ventilés.

Bio-climat/Confort

- En hiver, deux des quatre façades ne sont pas du tout ensoleillées.
- Présence de ponts thermiques : Une couche minimale d'isolation (4cm) est présente au niveau des façades. La continuité des balcons crée également des ponts thermiques à cause de l'isolation non-continue.
- Des grilles pour assurer la ventilation naturelle sont intégrés dans les châssis. Ces grilles apportent de l'inconfort thermique dans les logements.
- Les châssis sont encore les châssis d'origine, peu performants.
- Au vu de la hauteur de la tour, le vent est une contrainte aux étages les plus hauts.

Structure/Stabilité

- Les planchers sont très fins. Des fissurations apparaissent au niveau des cloisons, dues à la déformation des planchers.
- La structure en ossature ne peut pas être changée.
- Le béton ne vieillit pas bien. La carbonatation attaque les armatures présentes dans le béton.
- Les balcons ne sont pas utilisables au vue de leur profondeur de 73cm.

L'ajout par le biais d'extensions peut générer des opportunités, mais elle n'est pas dispensée de risques potentiels.



Opportunités

Spatialité

- Les façades sont pourvues d'un nombre significatif de fenêtres, ce qui revêt une importance capitale en vue de l'ajout d'un espace supplémentaire. Ces ouvertures sont stratégiques pour favoriser une bonne pénétration de la lumière dans le logement, assurant ainsi le confort optimal des occupants.

Bio-climat / Confort

- La double orientation prévalant dans la majorité des habitations peut se révéler avantageuse pour déterminer l'emplacement des extensions. Ainsi, le choix stratégique de l'emplacement de l'extension peut être influencé par la recherche de l'orientation optimale.

Structure/Stabilité

- Chaque logement est doté de plusieurs balcons, offrant ainsi la possibilité d'augmenter l'espace habitable grâce à une extension supplémentaire. Cette initiative vise à accroître le confort des résidents.



Menaces

Spatialité

- L'installation d'un système de ventilation semble être relativement compliqué.

Bioclimat/Confort

- La présence de vents peut constituer un défi lors de l'implantation d'extensions. En effet, cette contrainte doit être scrupuleusement considérée, particulièrement aux étages supérieurs, afin de déterminer la faisabilité d'extensions spécifiques, que ce soit des espaces clos ou ouverts.

Structure/Stabilité

- La configuration structurelle d'origine n'est pas conçue pour supporter des charges supplémentaires. Cette limitation peut entraîner une réduction significative de la profondeur possible des extensions, impactant ainsi les diverses utilisations auxquelles elles pourraient être destinées.

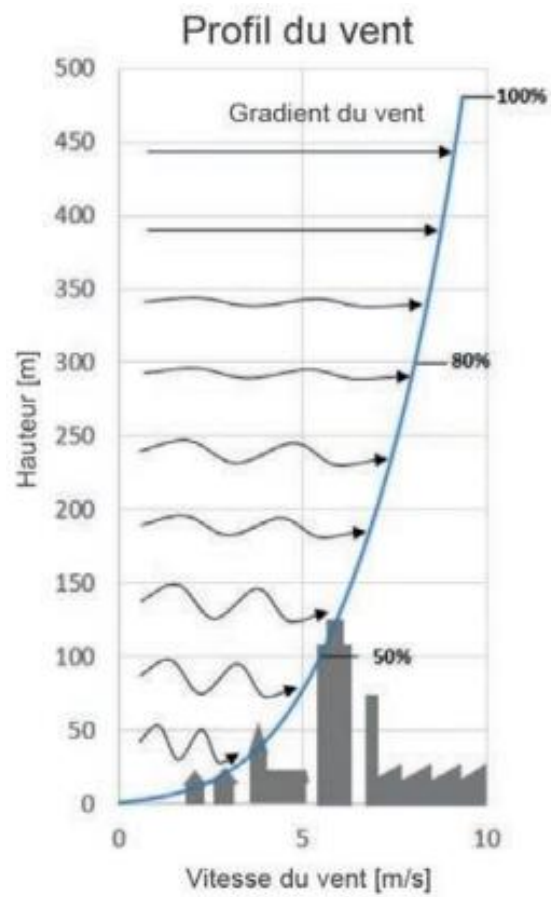


Fig. 121 - Application du vent sur les bâtiments
 Source : Notes sur les pratiques techniques

Les scénarii d'implantation d'extensions multifonctionnelles

L'objectif de cette partie est de croiser les analyses de la tour Match avec les extensions déjà existantes/appliquées sur divers cas pour déterminer des scénarii d'implantation et de forme d'extensions multifonctionnelles plausibles.

Finalement, une vue d'ensemble sur le potentiel ajout de surfaces sur les façades de la tour Atlas sera proposée.

Ces scénarii sont une première ébauche pour l'application de la rénovation énergétique sur des bâtiments d'après-guerre. Ces propositions permettront de calculer la réduction des charges énergétiques pour l'accrochage d'une extension.

Les facteurs influençant le choix de l'extension

Le vent - Il est pertinent de noter que la tour de 28 étages offre une vue panoramique sur l'ensemble de la ville wallonne. Cependant, il faut tenir compte des influences extérieures, notamment le vent, qui présente des caractéristiques variables en fonction de l'altitude. Il est essentiel de souligner que la vitesse du vent augmente significativement avec l'élévation, pouvant ainsi engendrer des inconforts pour les résidents lors de l'utilisation de leurs espaces extérieurs (fig.121). De plus, d'autres facteurs environnementaux tels que la pollution atmosphérique et sonore dans le contexte urbain où se situe l'étude méritent également une attention particulière.

L'orientation - En ce qui concerne l'orientation des façades, elle joue un rôle déterminant dans le choix des extensions envisagées. Parmi les quatre faces du bâtiment, seules deux bénéficient d'un ensoleillement constant tout au long de l'année, tandis que les deux autres demeurent dans l'ombre. Plus spécifiquement, les façades sud-est et sud-ouest bénéficient d'un ensoleillement tant en été qu'en hiver, alors que la façade nord-est reçoit la lumière du soleil le matin pendant la saison estivale, tandis que la façade nord-ouest ne la reçoit que le soir. Pendant la période hivernale, ces deux dernières façades sont complètement privées de lumière solaire. Cette configuration présente un défi particulier pour les logements non traversants, car tous les côtés initialement dotés de balcons ne sont pas idéalement orientés pour optimiser l'utilisation des espaces extérieurs. Ainsi se pose la question de remplacer ces balcons par des espaces clos.

La structure existante - La structure préexistante en ossature, localisée en façade du bâtiment, émerge comme un obstacle majeur dans le processus d'extension. Cette configuration pose un défi significatif, car la structure en place ne peut être retirée ou modifiée. En effet, la présence de cette ossature en façade impose des contraintes

spécifiques à la fois sur le plan de la conception et de la mise en œuvre de toute extension. Notamment, le plancher de l'immeuble initial n'a pas été initialement conçu pour supporter des extensions, affichant une hauteur limitée de seulement 20 cm. Cette limitation soulève des enjeux importants, restreignant considérablement les possibilités d'aménagement des extensions. Les choix potentiels d'utilisation se trouvent ainsi restreints par cette contrainte structurelle, impactant la manière dont l'extension peut être conçue et agencée.

Les normes imposées par le règlement régional d'urbanisme - Les normes d'habitabilité des logements sont globalement respectées, mis à part certaines surfaces des chambres qui sont trop petites et ne correspondent plus aux dimensions imposées par le guide régional d'urbanisme. Ces dernières peuvent donc être incluses dans la réflexion de mise en place des extensions. De plus, l'espace de stockage est relativement petit et correspond souvent à une armoire plus profonde. Ce dispositif ne fait que 1m², ce qui est quand même fort peu pour certains appartements.

Tableau reprenant les indications du Règlement Régional d'urbanisme

		Appartement 1 (2 chambres) - orientation unidirectionnelle		Appartement 2 (2 chambres) - orientation bidirectionnelle		Appartement 3 (3 chambres) - orientation bidirectionnelle	
		Imposé par le règlement régional d'urbanisme	Dimensions/surfaces prises /mesurées de la Tour Match	Imposé par le règlement régional d'urbanisme	Dimensions/surfaces prises /mesurées de la Tour Match	Imposé par le règlement régional d'urbanisme	Dimensions/surfaces prises /mesurées de la Tour Match
Normes minimales de superficie et de volume							
Normes minimales de superficie	Cuisine intégrée à la pièce de séjour	28 m ²	27,9 m ²	28 m ²	33,9 m ²	28 m ²	33,9 m ²
	Chambre 1	14 m ²	13,7 m ²	14 m ²	12,5 m ²	14 m ²	12,5 m ²
	Chambre 2	9 m ²	10,0 m ²	9 m ²	9,8 m ²	9 m ²	12,5 m ²
	Chambre 3	9 m ²	/	9 m ²	/	9 m ²	8,3 m ²
Local de rangement et de stockage		Présent	Présent mais très petit	Présent	Présent mais très petit	Présent	Présent mais très petit
Hauteur sous plafond		2,5 m	2,5 m	2,5 m	2,5 m	2,5 m	2,5
Largeur de la porte d'entrée		0,95 m	1 m	0,95 m	1 m	0,95 m	1m
Confort et hygiène							
Salle de bains / douche		1 salle de bain ou douche équipée d'eau froide et d'eau chaude	Présent	1 salle de bain ou douche équipée d'eau froide et d'eau chaude	Présent	1 salle de bain ou douche équipée d'eau froide et d'eau chaude	Présent
WC		1 WC	Présent	1 WC	Présent	1 WC	Présent
		Toilette 0,80x1,20m	0,7x1,55m	Toilette 0,80x1,20m	0,84x1,5m	Toilette 0,80x1,20m	0,84x1,5m
Cuisine		1 évier	Présent	1 évier	Présent	1 évier	Présent
		3 prises pour appareils électroménagers et 1 appareil de cuisson	Présentes	3 prises pour appareils électroménagers et 1 appareil de cuisson	Présentes	3 prises pour appareils électroménagers et 1 appareil de cuisson	Présentes
Eclairage naturel		Eclairage naturel des locaux habitables	Présent	Eclairage naturel des locaux habitables	Présent	Eclairage naturel des locaux habitables	Présent

Vues	Vues directes et horizontales (libre de tout obstacle sur au moins 3m)	Présentes	Vues directes et horizontales (libre de tout obstacle sur au moins 3m)	Présentes	Vues directes et horizontales (libre de tout obstacle sur au moins 3m)	Présentes	
Ventilation	Cuisine, salle de bain et toilette est ventilée	Ventilation naturelle de la cuisine (1), de la salle de bain (2) et de la toilette (3)	Cuisine, salle de bain et toilette est ventilée	Ventilation naturelle de la cuisine (1), de la salle de bain (2) et de la toilette (3)	Cuisine, salle de bain et toilette est ventilée	Ventilation naturelle de la cuisine (1), de la salle de bain (2) et de la toilette (3)	
Equipements							
Raccordements	Electricité	Au moins un point lumineux et une prise d'électricité	Présent	Au moins un point lumineux et une prise d'électricité	Présent	Au moins un point lumineux et une prise d'électricité	Présent
		Compteurs individuels avec accès aisé	Présent	Compteurs individuels avec accès aisé	Présent	Compteurs individuels avec accès aisé	Présent
		Présence de parlophone et d'ouvre-porte	Présence de parlophone et d'ouvre-porte dans les appartements rénovés	Présence de parlophone et d'ouvre-porte	Présence de parlophone et d'ouvre-porte dans les appartements rénovés	Présence de parlophone et d'ouvre-porte	Présence de parlophone et d'ouvre-porte dans les appartements rénovés
Ascenseur	Présence d'un ascenseur dans un immeuble à logements multiples (Rez +4 étages)	Remise aux normes de sécurité des ascenseurs dans la tour Match : présence de 3 ascenseurs					

Les différents scénarios - Cas de la tour Atlas

La conceptualisation des scénarios d'extensions horizontales en faveur de la rénovation énergétique de la tour Match repose sur une analyse approfondie des paramètres préalablement étudiés. Ces scénarios, élaborés de manière personnelle, s'appuient sur une compréhension approfondie de la structure du bâtiment et tiennent compte des diverses configurations spatiales des appartements.

Dans cette démarche, l'exploration des opportunités d'extension est guidée par une considération attentive des éléments inhérents au site, notamment les caractéristiques structurelles, les contraintes architecturales et les paramètres environnementaux.

L'intégration des facteurs externes, tels que les effets du vent et la hauteur du bâtiment, revêt une importance cruciale dans la formulation de ces propositions. Les scénarios s'efforcent ainsi d'optimiser l'efficacité énergétique tout en respectant les normes de sécurité et les contraintes structurelles existantes.

Chaque scénario est élaboré en tenant compte des besoins spécifiques des résidents, de manière à maximiser le confort tout en réduisant l'empreinte énergétique globale du bâtiment. Ces propositions se veulent être le fruit d'une approche systémique, prenant en considération l'ensemble des éléments en jeu, des caractéristiques architecturales aux contraintes techniques, afin de garantir une solution holistique et durable pour la rénovation énergétique de la tour Match.



Fig. 122 - La rénovation de la tour
Saint-Hilaire
Source : LAN Architecture

Stratégie d'intervention

01

Scénario

La rénovation de la tour Saint-Hilaire à Lormont a émergé comme la référence incontestable pour notre scénario imagé, marquée par l'ajout d'une double peau à la structure existante. Dans ce contexte, la stratégie adoptée pour les extensions repose sur une structure autoportante en béton, minutieusement vissée à la structure préexistante.

Pour garantir l'intégration harmonieuse de l'extension à la façade, une étape cruciale préalable consiste en des travaux de renforcement de la structure existante. Comme précédemment évoquée, la structure actuelle ne peut supporter des charges supplémentaires sans renforcement préalable. Ainsi, le renforcement de la poutre de ceinture se positionne comme une solution adéquate, soutenant l'intégralité des charges avec une capacité d'environ 100 tonnes/m.

Une approche envisageable pour ce renforcement consiste à dédier un étage de logements, impliquant la suppression de 6 logements afin de consolider spécifiquement la structure à cet emplacement. Cet étage sera alors chargé de reprendre les charges des logements situés au-dessus, établissant ainsi une base solide pour les extensions en porte-à-faux.

Le choix stratégique s'oriente ensuite vers des extensions en bandes continues, augmentant la profondeur de 0,7m à 1,4m, procurant un espace uniforme pour tous les logements. La

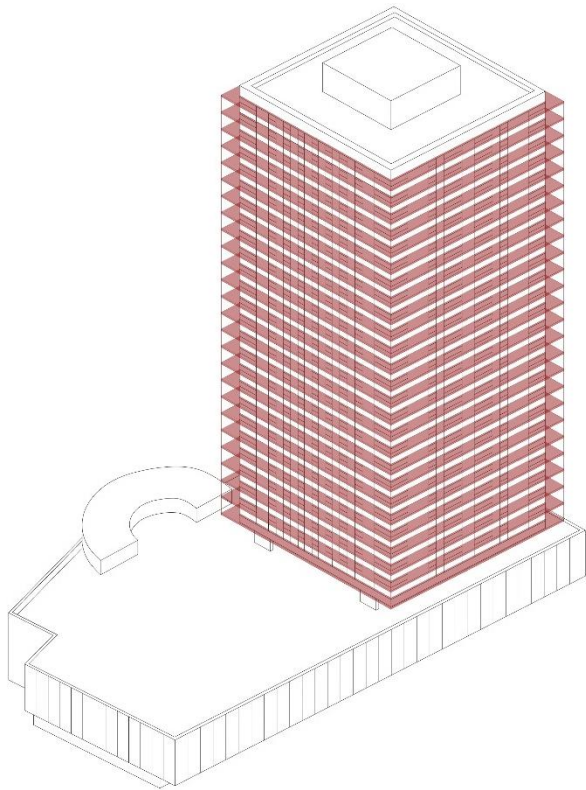


Fig. 123 - Axonométrie du scénario 1
Source : Production de l'auteurice

mise en œuvre de ces bandes en site occupé devient inévitable, compte tenu de la complexité de reloger des centaines de résidents.

Face aux contraintes éoliennes auxquelles sont soumis les derniers étages de la tour Match, l'accent est mis sur la minimisation des espaces extérieurs non protégés. Ainsi, la préférence va vers des espaces tampons, distincts de l'enveloppe chauffée, offrant une flexibilité d'utilisation tout au long de l'année, ajustable selon les préférences des occupants.

En ce qui concerne les techniques, l'intégration d'une bande active, concept évoqué par Yves Lion, se dessine comme une solution novatrice (Seraji, 2007). Cette bande engloberait un espace de stockage et une zone dédiée aux déchets, palliant ainsi le manque d'espaces de stockage global au sein des appartements. Cette approche témoigne de l'engagement envers une rénovation à la fois fonctionnelle et moderne de la tour Match, répondant aux besoins contemporains des résidents.

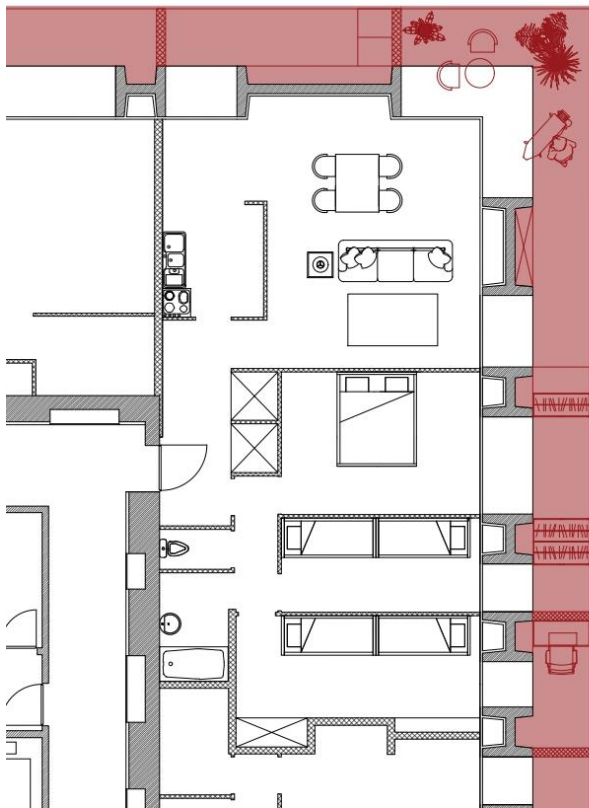


Fig. 124 - Séquence de plan du scénario 1
Source : Production de l'auteurice



Forces

Spatialité

- L'ajout d'espace supplémentaire offre l'opportunité de créer des locaux additionnels dédiés au stockage ainsi qu'à la gestion des déchets.
- L'augmentation significative de la superficie permet une utilisation polyvalente de l'espace ajouté, répondant à divers besoins fonctionnels.

Bio-climat/Confort

- Isolation acoustique et thermique grâce au dédoublement de la façade
- La double peau protège des contraintes du vent.
- La double peau peut être ventilée lorsqu'il fait très chaud à l'extérieur
- L'emplacement des extensions permet de stocker un maximum de chaleur même pendant l'hiver.
- L'extension est conçue pour être exploitée toute l'année, offrant à la fois un espace extérieur et un espace fermé non-chauffé.

Structure/Stabilité

- La structure indépendante n'impose aucune charge sur la structure de la tour, préservant ainsi sa stabilité.
- Les gaines, situées au niveau de la façade, permettent l'installation d'un réseau électrique et de conduites d'eau à des emplacements stratégiques.



Faiblesses

Spatialité

- L'augmentation de la profondeur assombrit l'espace adjacent.
- L'ajout peut accueillir très peu de fonctions.

Structure/Stabilité

- Les extensions ajoutées sont très peu larges ; il y a un usage très limité avec l'extension en porte-à-faux.



Opportunités

Spatialité

- L'intégration de vastes ouvertures favorise une infiltration maximale de la lumière naturelle au sein des espaces concernés.

Bio-climat / Confort

- Pour optimiser les performances énergétiques, le projet intègre un espace tampon visant à réduire significativement la consommation de chauffage dans la tour Match.
- Une remise à niveau du système de ventilation, en adoptant le système C, est prévue dans le cadre de la rénovation. En parallèle, des informations détaillées seront fournies aux habitants pour les sensibiliser aux bonnes pratiques visant à minimiser l'humidité. Cette approche proactive vise à prévenir la formation de moisissures et à assurer un environnement intérieur sain et confortable.



Menaces

Bioclimat/Confort

- Il convient de souligner que la mise en place du système C peut générer des perturbations sonores dues au vent, impactant ainsi le niveau de confort acoustique des espaces.

Structure/Stabilité

- Des travaux au niveau de la structure doivent être réalisés et peuvent coûter beaucoup d'argent et durer assez longtemps.



Fig. 125 - La tour Bois-le-Prêtre après rénovation

Source : Atlas of Places

Stratégie d'intervention

02

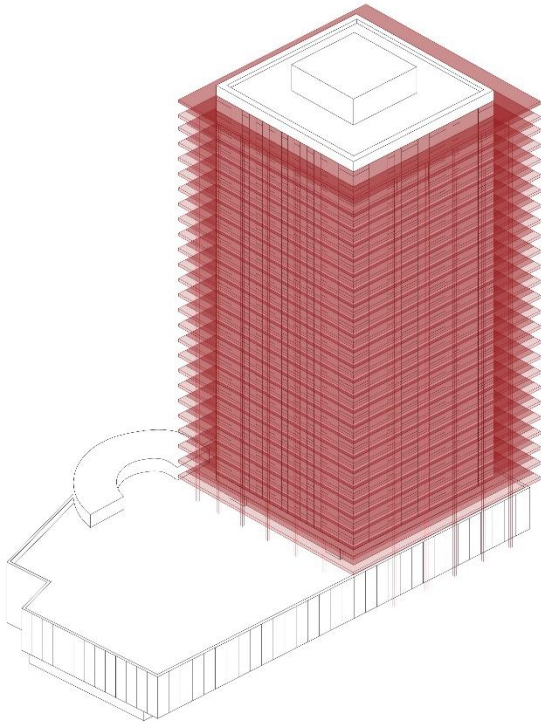
Scénario

La rénovation de la tour Match s'inscrit dans une démarche, où la fusion entre le moderne et l'existant prend forme à travers des extensions continues et vitrées. L'approche adoptée pour ces extensions repose sur une structure indépendante en béton et acier, exigeant des ajustements conséquents pour garantir une intégration harmonieuse à la façade existante.

La première étape cruciale consiste à renforcer les fondations pour rendre les colonnes de la nouvelle structure indépendante. La complexité de la situation réside dans la présence d'un parking sur les premiers étages de la tour pour la façade sud-est (voir Annexe 1). Pour assurer la stabilité, des points d'appui doivent être ajoutés sur le plancher du parking aux endroits dépourvus de soutien, même au prix de la suppression de certaines places de stationnement.

L'orientation vers des extensions en bandes continues découle d'une volonté d'offrir un espace uniforme à tous les logements. Cette extension augmente la profondeur de manière significative, passant de 0,7m à 3m, offrant ainsi une opportunité d'intégrer diverses utilisations et fonctions. La mise en place de ces bandes se réalise en site occupé.

Les espaces tampons, non liés à l'enveloppe chauffée, sont choisis stratégiquement pour permettre une utilisation tout au long de l'année. L'ajout de terrasses offre une extension



saisonnaire du jardin d'hiver, favorisant une pleine jouissance des espaces extérieurs par temps chaud. Des ouvertures généreuses sont intégrées pour maximiser la pénétration de la lumière, un aspect crucial compte tenu de l'augmentation de la profondeur des logements. Des dispositifs de protection solaire sont mis en place pour contrôler les surchauffes et garantir le confort thermique des habitants.

En ce qui concerne les aspects techniques, l'espace supplémentaire généré offre la possibilité d'implanter des zones dédiées au tri des déchets et au stockage.

Fig. 126 - Axonométrie du scénario 2
 Source : Production de l'autrice

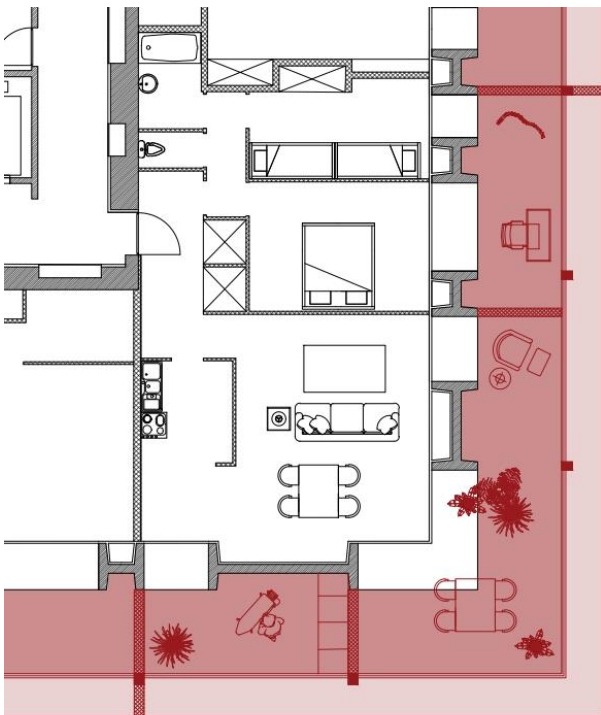


Fig. 127 - Séquence du plan du scénario 2
 Source : Production de l'autrice



Forces

Spatialité

- L'ajout d'espace supplémentaire offre l'opportunité de créer des locaux additionnels dédiés au stockage ainsi qu'à la gestion des déchets.

- L'augmentation significative de la superficie permet une utilisation polyvalente de l'espace ajouté, répondant à divers besoins fonctionnels.

Bio-climat/Confort

- L'extension est conçue pour être exploitée toute l'année, offrant à la fois un espace extérieur et un espace fermé non-chauffé.

Structure/Stabilité

- La structure indépendante n'impose aucune charge sur la structure de la tour, préservant ainsi sa stabilité.

- Les gaines, situées au niveau de la façade, permettent l'installation d'un réseau électrique et de conduites d'eau à des emplacements stratégiques.



Faiblesses

Spatialité

- La profondeur de l'extension entraîne une obscurité accrue de l'espace.



Opportunités

Spatialité

- L'intégration de vastes ouvertures favorise une infiltration maximale de la lumière naturelle au sein des espaces concernés.

Bio-climat / Confort

- Pour optimiser les performances énergétiques, le projet intègre un espace tampon visant à réduire significativement la consommation de chauffage dans la tour Match.

- Une remise à niveau du système de ventilation, en adoptant le système C, est prévue dans le cadre de la rénovation. En parallèle, des informations détaillées seront fournies aux habitants pour les sensibiliser aux bonnes pratiques visant à minimiser l'humidité. Cette approche proactive vise à prévenir la formation de moisissures et à assurer un environnement intérieur sain et confortable.



Menaces

Bioclimat/Confort

- Il convient de souligner que la mise en place du système C peut générer des perturbations sonores dues au vent, impactant ainsi le niveau de confort acoustique des espaces.

Structure/Stabilité

- Des travaux au niveau de la structure doivent être réalisés et peuvent coûter beaucoup d'argent et durer assez longtemps.



Fig. 128 - Immeuble à Bondy après rénovation
Source : virtuel architecture

Stratégie d'intervention

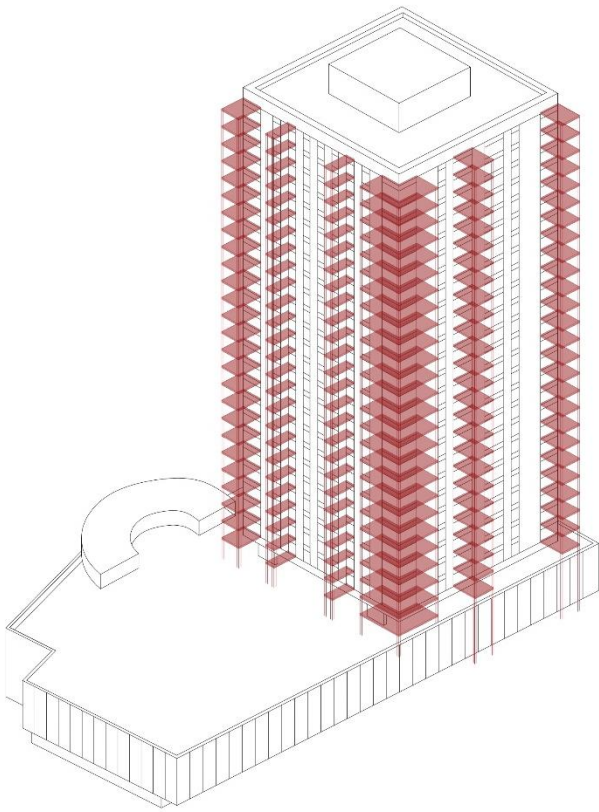
Scénario 03

Dans le cadre de la rénovation de la tour Match, le scénario imaginé s'articule autour de l'intégration d'extensions continues en bois, visant à remédier au déficit d'espace et de confort rencontré dans certains logements. La démarche adoptée repose sur l'utilisation d'une structure indépendante en bois, nécessitant des travaux préalables pour l'ajout de fondations afin de garantir la stabilité des colonnes de cette nouvelle structure, procédé similaire à celui du scénario 2.

La décision stratégique s'oriente vers l'implantation d'extensions en bandes continues, offrant un espace uniforme à l'ensemble des logements. L'augmentation de la profondeur, passant de 0,7m à 2m, vise à accueillir divers usages et fonctions. La mise en place de ces extensions sur site occupé s'avère incontournable, compte tenu de la complexité liée au relogement de centaines de résidents.

Optant pour des espaces relativement clos en dehors de l'enveloppe chauffée, cette approche permet une utilisation tout au long de l'année, offrant une réponse aux besoins en mètres carrés supplémentaires, notamment pour l'une des trois chambres des logements de type 3. Des ouvertures ponctuelles permettent la pénétration de la lumière.

Cette proposition se distingue du scénario 2 par sa focalisation sur les zones présentant un réel manque d'espace et de confort, apportant ainsi une solution ciblée aux besoins



spécifiques des résidents ainsi que par l'utilisation du matériau biosourcé.

Fig. 129 - Axonométrie du scénario 3
Source : Production de l'autrice

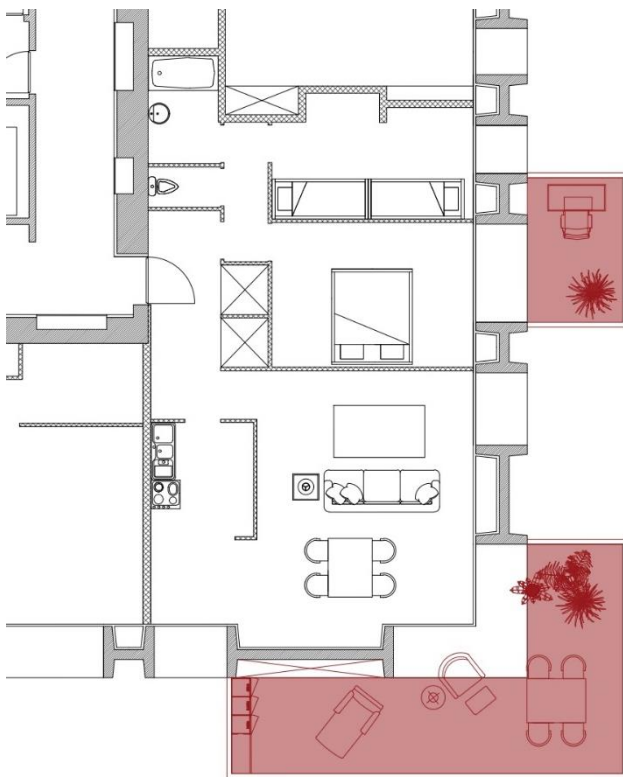


Fig. 130 - Séquence du plus du scénario 3
Source : Production de l'autrice



Forces

Spatialité

- Les diverses extensions bénéficient d'une double orientation, favorisant ainsi une meilleure pénétration de la lumière naturelle.
- L'ajout d'espace supplémentaire offre l'opportunité de créer des locaux additionnels dédiés au stockage ainsi qu'à la gestion des déchets.
- L'augmentation significative de la superficie permet une utilisation polyvalente de l'espace ajouté, répondant à divers besoins fonctionnels.

Bio-climat/Confort

- L'extension est conçue pour être exploitée toute l'année, offrant à la fois un espace extérieur et un espace fermé non-chauffé.

Structure/Stabilité

- La structure indépendante n'impose aucune charge sur la structure de la tour, préservant ainsi sa stabilité.
- Les gaines, situées au niveau de la façade, permettent l'installation d'un réseau électrique et de conduites d'eau à des emplacements stratégiques.



Faiblesses

Spatialité

- Les extensions en saillie de la façade peuvent générer des points de vue indésirables.
- La profondeur de l'extension entraîne une obscurité accrue de l'espace.



Opportunités

Bio-climat / Confort

- Pour optimiser les performances énergétiques, le projet intègre un espace tampon visant à réduire significativement la consommation de chauffage dans la tour Match.
- Une remise à niveau du système de ventilation, en adoptant le système C, est prévue dans le cadre de la rénovation. En parallèle, des informations détaillées seront fournies aux habitants pour les sensibiliser aux bonnes pratiques visant à minimiser l'humidité. Cette approche proactive vise à prévenir la formation de moisissures et à assurer un environnement intérieur sain et confortable.



Menaces

Spatialité

- Les espaces fermés risquent d'assombrir l'espace adjacent à l'extension.

Bioclimat/Confort

- Il convient de souligner que la mise en place du système C peut générer des perturbations sonores dues au vent, impactant ainsi le niveau de confort acoustique des espaces.

Structure/Stabilité

- Des travaux au niveau de la structure doivent être réalisés et peuvent coûter beaucoup d'argent et durer assez longtemps.
- La structure en bois n'est pas résistante au feu

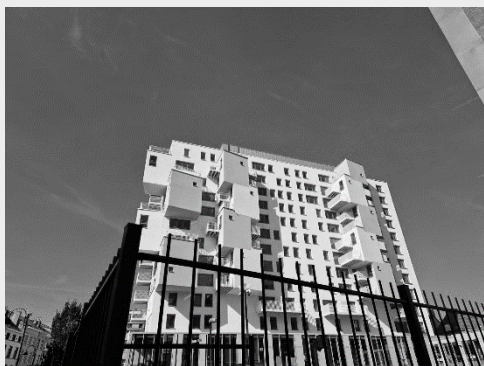


Fig. 131 - L'immeuble Potiers 2 après la rénovation

Source : SLRB - BGHM

Stratégie d'intervention

Scénario

04

Dans le cadre de la restructuration architecturale du bâtiment, le projet d'extension adopte une approche novatrice en matière de conception, en se basant sur une stratégie différenciée selon les étages. La méthodologie envisagée consiste en l'implantation d'une structure indépendante en acier pour les cinq premiers étages, suivie d'extensions ponctuelles pour les niveaux subséquents.

Les façades Nord-Est et Sud-Ouest sont identifiées comme les zones cibles pour l'ajout d'extensions, notamment en raison de la présence d'appartements mono-orientés. L'objectif fondamental de ces extensions est de transformer ces logements en des espaces bi-orientés, en exploitant judicieusement les extensions nouvellement intégrées.

La sélection d'extensions en bandes continues pour les cinq premiers étages repose sur une logique structurale particulière. En effet, la nature indépendante de la structure à ces niveaux permet une plus grande profondeur d'extension, contribuant ainsi à l'ajout de 2 mètres de largeur à l'enveloppe du bâtiment. Or, les extensions ponctuelles sur les étages ultérieurs se caractérisent par une moindre largeur, étant directement ancrées à la structure existante, ajoutant ainsi 1,3 mètre à la structure autoportante.

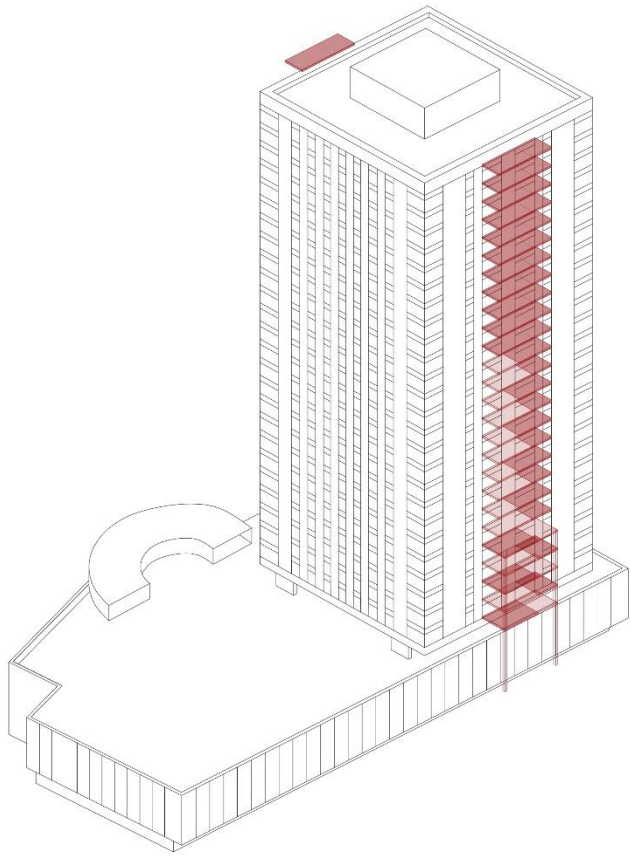


Fig. 132 - Séquence du plan du scénario 4
Source : Production de l'autrice

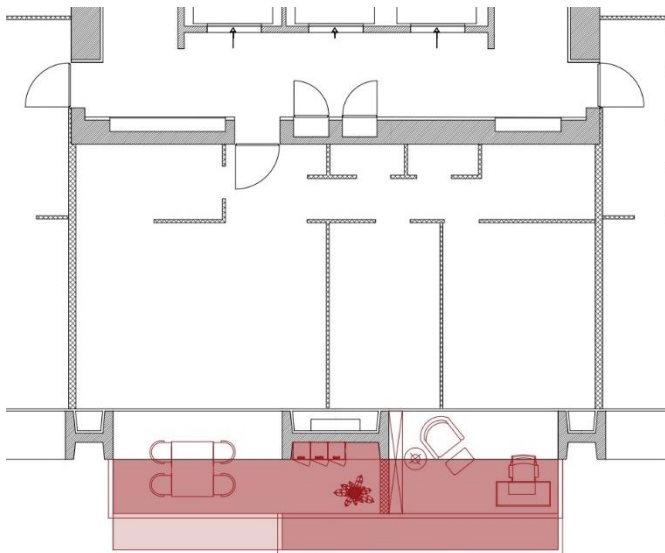


Fig. 133 - Séquence du plan du scénario 4
Source : Production de l'autrice

L'exécution du projet dans un environnement déjà occupé représente un défi significatif, étant donné la nécessité de maintenir la continuité des activités au sein du bâtiment. La mise en place des extensions s'opère donc en site occupé, évitant ainsi la complexité logistique associée au relogement de centaines de résidents.

Une considération minutieuse est également apportée à la gestion des ouvertures des extensions vers l'extérieur. En raison des contraintes importantes liées aux vents dans les étages supérieurs de la tour, la décision a été prise de fermer les espaces ajoutés dans la partie haute du bâtiment. En revanche, les étages inférieurs bénéficient d'une plus grande flexibilité, avec des extensions prenant la forme de balcons et d'espaces tampons, offrant ainsi une connexion avec l'environnement extérieur. Ainsi, les étages supérieurs se caractérisent par un espace entièrement clos, tandis que les niveaux inférieurs bénéficient d'une intégration harmonieuse entre intérieur et extérieur. Cette approche vise à maximiser le confort des résidents tout en tenant compte des contraintes environnementales spécifiques à chaque niveau de la tour.



Forces

Spatialité

- Les diverses extensions bénéficient d'une double orientation, favorisant ainsi une meilleure pénétration de la lumière naturelle.
- L'ajout d'espace supplémentaire offre l'opportunité de créer des locaux additionnels dédiés au stockage ainsi qu'à la gestion des déchets.
- L'augmentation significative de la superficie permet une utilisation polyvalente de l'espace ajouté, répondant à divers besoins fonctionnels.

Bio-climat/Confort

- L'extension est conçue pour être exploitée toute l'année, offrant à la fois un espace extérieur et un espace fermé non-chauffé.

Structure/Stabilité

- La structure indépendante n'impose aucune charge sur la structure de la tour, préservant ainsi sa stabilité.
- Les gaines, situées au niveau de la façade, permettent l'installation d'un réseau électrique et de conduites d'eau à des emplacements stratégiques.



Faiblesses

Spatialité

- Les extensions en saillie de la façade peuvent générer des points de vue indésirables.
- La profondeur de l'extension entraîne une obscurité accrue de l'espace.

Structure/Stabilité

- Les boîtes sont vissées à la structure existante de la tour ce qui sollicite cette dernière.



Opportunités

Spatialité

- L'intégration de vastes ouvertures favorise une infiltration maximale de la lumière naturelle au sein des espaces concernés.

Bio-climat / Confort

- Pour optimiser les performances énergétiques, le projet intègre un espace tampon visant à réduire significativement la consommation de chauffage dans la tour Match.
- Une remise à niveau du système de ventilation, en adoptant le système C, est prévue dans le cadre de la rénovation. En parallèle, des informations détaillées seront fournies aux habitants pour les sensibiliser aux bonnes pratiques visant à minimiser l'humidité. Cette approche proactive vise à prévenir la formation de moisissures et à assurer un environnement intérieur sain et confortable.



Menaces

Bioclimat/Confort

- Il convient de souligner que la mise en place du système C peut générer des perturbations sonores dues au vent, impactant ainsi le niveau de confort acoustique des espaces.

Structure/Stabilité

- Des travaux au niveau de la structure doivent être réalisés et peuvent coûter beaucoup d'argent et durer assez longtemps.

	Caractéristiques spatiales et architecturales, Mise en œuvre, Stabilité										Fonctionnement	Apport					Spatialité					Confort																
	Ajout d'extension lors de la rénovation					Mise en œuvre en site occupé					Fonction	Profondeur de l'extension	Utilisation	Surface (m ²)	Système de ventilation déjà installé			Equipement		Point d'eau à proximité	Isolation(*)	Double châssis	Espace servant	Espace servi	Ouverture sur logement			Extension au même niveau que le plancher	Local prévu pour tri de déchets	Extension dans le volume chauffé	Thermique		Ouverture sur l'extérieur					
	Jardin d'hiver	Balcon	Usage multiple	Extension en bandes continues	Extension ponctuelle sous forme de boîte	Extension fixée à la structure portante	Structure indépendante (autoportante)	Principaux matériaux	1-3m	3-5m					Tout au long de l'année	Utilisation ponctuelle	Eau	Electricité	Espace tampon						Espace habitable en été	Espace habitable à mi-saison	Partielle				Totale	Vitrage de l'ouverture extérieure translucide	Vitrage de l'ouverture extérieure transparent	Présence de protection solaire				
Scénario 01 - Double peau	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✓	✗	4,5	✓	✗	✓	✗	30 + 15,3	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✓
Scénario 02 - Une utilisation maximale	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✓	3	✗	✓	✓	✗	42+15 , 23+15	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✓
Scénario 03 - Une augmentation ponctuelle	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✓	2	✗	✓	✓	✗	7,5, 22,4	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✗
Scénario 04 - Egalité des logements	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	3	✓	✓	✓	✗	12,8 ou 19,7	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✓

Verre = 1 , Bois = 2 , Acier (métal) = 3, Béton = 4, Polycarbonate = 5, CLT = 6

(*) L'isolation prise en considération dans ce tableau n'est que l'isolation technique. Les espaces tampons, jouant le rôle d'isolant thermique, ne sont pas pris en compte.

Conclusion

Dans l'ensemble, davantage de critères ont pu être pris en compte dans l'évaluation de la grille synoptique. Du point de vue de la mise en œuvre, il est prévu de réaliser la rénovation en site occupé en raison du nombre important de personnes à reloger. La mise en œuvre en site occupé devrait être réalisable grâce au décrochage du garde-corps préfabriqué, où le balcon constitue une extension directe du plancher.

Il est à noter que 3 scénarios sur 4 intègrent des extensions sous forme de bandes continues, tandis que 2 cas sur 4 présentent des structures indépendantes. L'option d'ajouter des boîtes ponctuelles en façade est peu explorée dans cet exemple. Ainsi, dans cette étude, l'ajout de structures indépendantes est privilégié pour permettre l'aménagement d'espaces plus profonds.

Un autre aspect significatif est l'ajout d'une surface conséquente aux 6 logements par étage. Cette augmentation s'explique par le fait que 4 des 6 logements sont orientés des deux côtés, représentant ainsi une surface importante en termes de façade.

Sur le plan des techniques, des avancées notables sont envisageables. La présence de gaines techniques au niveau des façades offre la possibilité d'ajouter des systèmes d'électricité et d'eau selon les besoins. La gaine est doublée afin que l'extension puisse également en bénéficier. En ce qui concerne la ventilation, une solution uniforme sera mise en place pour tous les logements, améliorant ainsi une ventilation naturelle déjà présente. Des panneaux de grillage de ventilation seront attribués aux extensions pour favoriser la circulation de l'air naturel tout en évitant les bruits dus au vent.

L'ajout d'espaces dédiés au tri des déchets transforme les extensions en espaces polyvalents, servant à la fois de locaux de stockage. En raison de la structure en ossature en façade, les ouvertures sur le logement sont ponctuelles, limitant la pénétration de la lumière naturelle. Ainsi, l'ouverture de l'extension vers l'extérieur revêt une grande importance.

Il est également à noter que le dernier scénario, regroupant deux types d'extensions (structure indépendante et structure ponctuelle), est celui qui satisfait le plus de critères. Cette approche offre une variété d'espaces, allant des espaces extérieurs aux espaces clos pour se protéger du vent.

Conclusion

La rénovation du bâti existant, et plus spécifiquement des ensembles de logements d'après-guerre, représente un défi complexe et urgent à l'ère des préoccupations environnementales croissantes. Ces constructions, jadis la réponse à une pénurie de logements après la Seconde Guerre mondiale, sont aujourd'hui confrontées à des problèmes structurels, à une obsolescence marquée, et à une performance énergétique qui ne répond plus aux normes actuelles. Face à ces constats, les stratégies européennes, intégrées dans la stratégie de rénovation à long terme wallonne, ont identifié les logements collectifs d'après-guerre comme une cible prioritaire pour réduire l'impact environnemental des bâtiments existants.

L'un des aspects clés dans l'amélioration de l'efficacité énergétique de ces complexes d'habitation est la mise en œuvre de systèmes de ventilation hygiénique. Dans ce contexte, de nombreux architectes et professionnels du secteur cherchent des solutions novatrices pour surmonter les défis inhérents à la rénovation énergétique de ces bâtiments.

Après avoir analysé et proposé des solutions de rénovation pour la tour Match à Droixhe, il est maintenant pertinent d'examiner les réponses à la question de la rénovation énergétique, en se concentrant spécifiquement sur la recherche suivante : *"Quel est le potentiel des extensions multifonctionnelles pour la rénovation énergétique des immeubles collectifs construits entre 1945 et 1975 ?"*

Dans un premier temps, nous aborderons les points forts et les contributions de la rénovation énergétique à la tour Match. Ensuite, nous explorerons les faiblesses et les limites des extensions, cherchant ainsi des améliorations possibles et identifiant les opportunités qu'elles offrent. Enfin, nous projeterons la rénovation énergétique dans l'avenir, cherchant à la généraliser pour fournir une piste de solution à la rénovation énergétique des immeubles d'après-guerre.

En examinant les points forts de cette approche, il apparaît clairement que l'ajout d'extensions ne se limite pas à une simple amélioration esthétique des façades. Outre le rafraîchissement visuel, ces extensions offrent une surface habitable supplémentaire, comblant ainsi le hiatus entre les normes contemporaines d'habitabilité et la fonctionnalité obsolète de ces bâtiments historiques. En introduisant un espace intermédiaire entre l'intérieur et l'extérieur, ces extensions ne se contentent pas d'apporter une réponse fonctionnelle, mais créent également une seconde peau au bâtiment, contribuant à une isolation thermique et acoustique améliorée. La multifonctionnalité de ces espaces supplémentaires constitue ainsi une réponse ingénieuse à la problématique de la consommation énergétique, notamment en matière de chauffage.

Cependant, au-delà de cette polyvalence fonctionnelle, se pose la question de l'intégration harmonieuse des techniques au sein de ces extensions. Il est impératif de garantir que les dispositifs techniques, qu'ils soient liés à la ventilation, à l'éclairage ou à d'autres systèmes, soient intégrés de manière cohérente et efficiente. L'équilibre entre la performance technique et l'esthétique architecturale devient alors un enjeu majeur.

Néanmoins, il est crucial de reconnaître les défis et limites de cette approche. L'hétérogénéité de la construction des immeubles d'après-guerre, caractérisée par des variations dans la position des gaines techniques et des dimensions non conformes des pièces, entrave une intégration homogène des extensions. La structure initiale de ces bâtiments, qui n'était pas conçue pour supporter des charges supplémentaires, impose des contraintes significatives à la profondeur, à la structure et à la créativité architecturale des extensions.

En abordant les opportunités et les perspectives futures de cette recherche, il est essentiel de reconnaître que la réponse à la question du potentiel des extensions multifonctionnelles dépend fortement de la typologie spécifique de chaque bâtiment. Certains, tels que la tour Match, offrent une flexibilité accrue dans la réorganisation des espaces grâce à une structure en façade et l'absence de murs porteurs. Toutefois, cette multifonctionnalité trouve ses limites dans l'intégration de systèmes de ventilation mécanique, pointant ainsi vers des alternatives comme la ventilation naturelle.

En projetant cette recherche dans le futur, il devient impératif de la pousser encore plus loin. Les scénarios présentés dans cette étude fournissent des indications sur la multifonctionnalité des différentes compositions d'extensions. Cependant, d'autres compositions pourraient être explorées pour parvenir à une solution encore plus universelle. Ce travail pourrait ainsi devenir un modèle, généralisable à d'autres immeubles collectifs d'après-guerre partageant la même typologie que la tour Match.

En conclusion, la rénovation énergétique des immeubles collectifs d'après-guerre nécessite une approche minutieuse, adaptée à la diversité de chaque bâtiment. Les extensions multifonctionnelles émergent comme une solution prometteuse, mais leur succès dépendra d'une compréhension approfondie des contraintes spécifiques à chaque structure. Anticiper ces nuances nous permettra de développer des stratégies de rénovation énergétique durables, améliorant ainsi le confort, la fonctionnalité et la performance environnementale de ces ensembles urbains emblématiques. En embrassant ces opportunités, nous pouvons contribuer à façonner un avenir où la rénovation énergétique des bâtiments d'après-guerre devient non seulement une nécessité, mais également une opportunité de réinventer et de revitaliser notre patrimoine urbain.

Bibliographie

Articles scientifiques, Journaux périodiques, publications

Architecture et Climat. (2020). *Guide de la rénovation énergétique et durable des logements en Wallonie : Analyse du bâti*. Site énergie du Service public de Wallonie. p.134. Disponible en ligne : <https://energie.wallonie.be/servlet/Repository/guide-de-la-renovation-energetique-et-durable-des-logements-en-wallonie-chapitre-4-analyse-du-bati.pdf?ID=42042>

Crappe, C. (1962). La cité-parc de la plaine de Droixhe. *Habiter, numéro spécial consacré à la région liégeoise*, pp. 119-146.

Declerck, N. (2004). *Belgium: Impact of modernism in a divided country*. DUP Science. Delft. Housing and Urban Policy Studies 28. p. 117 - 128.

Degraeve, J.-M. (2020). 1920-1990. Une société nationale d'habitations sociales (partie 1). In: *Les échos du logement*, n°127. <https://logement.wallonie.be/storage/logement/documents/content/publication/les-echos-du-logement/les-echos-du-logement-127.pdf>

Demesmaecker, P. (2014). *Séminaire Bâtiment Durable : Quelles solutions de ventilation pour la rénovation des bâtiments résidentiels ?*. p.29. Disponible en ligne : https://document.environnement.brussels/opac_css/elecfile/PRES_141007_SEM01_ventilation_FR.pdf

De Naeyer, A. (2007). *Cost C16. General overview of the problems, needs and solutions in the Belgian Urban Building Envelope*. Delft. Delft University Press.

Dethier, D. (2012). La cité d'habitation de Droixhe : de l'utopie à la réalité. Dans Graf, F., & Delemontey, y., *Architecture industrialisée et préfabriquée : connaissance et sauvegarde*. Lausanne : Presses polytechniques et universitaires romandes.

Frankignoulle, P., Stevens, B. (2002). Vers un nouveau Droixhe. *Les Cahiers de l'Urbanisme*, n°39, pp.46-52. En ligne : <https://hdl.handle.net/2268/130782>

Frankignoulle, P. (2009). Urbanisme et architecture à Liège 1960-1970. *Les Cahiers de l'Urbanisme*, n°73, pp.38-45.

Frankignoulle, P., Herold, S., Stevens, B. (2004). Quel avenir pour nos quartiers ? *Echos du Logement*.

Koller, M. (2003, Janvier). Wohnhochhaus im Wandel der Zeiten. Tour Bois-le-Prêtre, Paris/FR. *Deutsche BauZeitschrift*. https://www.dbz.de/artikel/dbz_Wohnhochhaus_im_Wandel_der_Zeiten_Tour_Bois-le_Pretre_Paris_FR_-1578152.html

Dessouroux, C., Romainville, A. (2011). La production de logements en Belgique et à Bruxelles - Acteurs, dynamiques, géographie. *EchoGéo*, n°15, pp. 1-23. En ligne : <http://journals.openedition.org/echogeo/12279>

Houst, Y.F. (1984). Carbonatation du béton et corrosion des armatures. *Chantiers (Suisse)*, n°15, pp. 569-574. En ligne : <https://infoscience.epfl.ch/record/120479?ln=fr>

Lacaton & Vassal. (2014). *Transformation*. https://www.lacatonvassal.com/data/documents/20140218-193848LV_BookFchA4_HabitatTransfo_bd.pdf

Neuwels, J. (2022). Habiter un logement énergétiquement performant : rôles, enjeux et apports du travail social. *Les cahiers du travail social*, n° 102, pp. 25-30.

Neuwels, J. (2013). Construction durable: expertise et contre-expertise d'architectes. *VertigO*, 13(2).

Neuwels, J. (2023, April). La Ventilation naturelle des bâtiments performants comme manifeste. In *Ce que l'architecture fait à l'écologie*.

Noël, F. (2009). Logements et habitat s'exposent à l'Exposition Universelle de 1958. In : Deligne C., Jaumain S. (dir.), *L'expo 58. Un tournant dans l'histoire de Bruxelles*. Bruxelles, Le Cri, Histoire, pp. 145-183.

Organisation mondiale de la Santé (2021). *Pollution de l'air à l'intérieur des habitations et santé*. En ligne : <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs292/fr/>

Pousse, J-F. (2012). *Vers de nouveaux logements sociaux : Tome 2*. Ed. Silvana.

Schmitt, K. W. (1964). *Multi-storey Housing*. Mehrgeschossiger Wohnbau. Stuttgart. Hatje. p.217

Schmitt, M., Sonck, M., Prignot, N. (2013, août 26). La rénovation de la tour « Brunfaut ». *Bruxelles en mouvements*, 265, pp.12-15. <https://www.ieb.be/La-renovation-de-la-tour-Brunfaut>

Schneider, F. (2003). The Layout Of Apartment/The Floor Plan Idea. In B. Leupen, & J. Leupen, *Dwelling Architecture and Modernity* (pp. 31-37). Delft, The Netherlands: Delft University of Technology, Faculty of Architecture.

Turkington, R., van Kempen, R., Wassenberg, F. (2004). *High-rise housing in Europe: Current trends and future prospects*. Housing and Urban Policy Studies. DUP Science. Delft. p. 28-284.

Van Dijk, P. (2006). Immeubles à appartements de l'entre-deux-guerres. Bruxelles, *Ville d'Art et d'Histoire*, n°43. En ligne : <https://patrimoine.brussels/liens/publications-numeriques/version-pdf/bvah/immeubles-a-appartements-de-lentre-deux-guerres>

Livres

Aknin, A., Froger, G., Géronimi, V., Méral, P., Schembri, P. (2002). *Environnement et développement - quelques réflexions autour du concept de « développement durable »*. Dans : Développement durable ? Doctrines, pratiques, évaluations. IRD Editions. pp. 51-71.

Charlier, S., Moor, T. (2014). *Guide d'architecture modern et contemporaine*. Liège. Mardaga.

Deherde, A., Trachte, S. (2010). *Advanced and Sustainable Housing Renovation. A guide for Designers and planners*. EIA. https://www.iea-shc.org/data/sites/1/publications/Advanced_and_Sustainable_Housing_Renovation.pdf

Druot, F., Lacaton, A., Vassal, J-P. (2007). *PLUS - Les grands ensembles de logements - Territoire d'exceptio*. Editorial Gustavo Gili.

Frankignoulle, P., Malherbe, A. (1994). *De l'Utopie au Réel. 1919-1994 : 75 ans de logement social en Wallonie*. Centre Culturel Les Chiroux.

Giebeler, M., Fisch, P., Krause, R., Musso, F., Petzinka, K-H., Rudolphi, A. (2009). *Refurbishment Manual. Maintenance Conversions Extensions*. Birkhäuser.

Gossens, L. (1983). La politique du logement social en Belgique. *Recherches sociologiques*, 14(2), pp.203-228.

Joffroy, P. (1999). *La réhabilitation des bâtiments : Conserver, améliorer, restructurer les logements et les équipements*. Le Moniteur, p.113.

Ledent, G., Salembier, C., Vannest, D. (2020). *Sustainable dwelling. Between Spatial Polyvalence and Residents' Empowerment*. PUL. <https://www.i6doc.com/html/WYSIWYGfiles/files/100235-PUL-Deprez-Sustainable-C1-INT-C4-WEB.pdf>

Moley, C. (2017). *(Ré)concilier architecture et réhabilitation de l'habitat*. Éditions du Moniteur.

Seraji, N. (2007). *Logement, matière de nos villes : chronique européenne, 1990-2007*. Picard.

Van de Voorde, S., Bertels, I., Wouters, I. (2015). *Post-war building materials in housing in brussels 1945-1975*. VUB. <http://materiauxdeconstructiondapresguerre.be/wp-content/uploads/2015/12/post-war-building-materials.pdf>

Mémoires/Thèses de Doctorat

Albostan, D. (2009). *Flexibility in multi-residential housing projects: three innovative cases from Turkey*. Master Diss. In Architecture. School of Natural and Applied Sciences. Middel East Technical University. Turkey.

Cadiman, A. (2022). *Rénovation énergétique du parc immobilier résidentiel en Belgique : Réglementations et barrières à la rénovation énergétique pour les particuliers*. [Mémoire de master, Université catholique de Louvain]. DIAL.mem. <http://hdl.handle.net/2078.1/thesis:33808>

Delhez, M. (2022). *"Requalification de la cité de Droixhe : Quel avenir pour les équipements du quartier ? Etude de cas sur l'école fondamentale communale."*. [Mémoire de master, Université de Liège]. Mateo. <http://hdl.handle.net/2268.2/15874>

Huchant, B. (2018). *A 4dimensional design strategy : solution durable pour une réhabilitation dynamique des immeubles à appartements des années 60-70 à Liège*. [Mémoire de master, Université de Liège]. Mateo. <http://hdl.handle.net/2268.2/5479>

Ledent, G. (2014). *Potentiels Relationnels. L'aptitude des dispositifs physiques de l'habitat à soutenir la sociabilité. Bruxelles, le cas des immeubles élevés et isolés de logement*. [Thèse de doctorat, Université catholique de Louvain]. DIAL.pr. <http://hdl.handle.net/2078.1/142972>

Lemoine, L. (2017). *La réhabilitation des immeubles des trente glorieuses : Entre démarche écologique et valeur historique*. [Mémoire de master, Ecole nationale supérieure Architecture]. ISSUU. https://issuu.com/louise.lemoine/docs/m_moire_impression

Paduart, A. (2012). *RE-DESIGN FOR CHANGE. A 4Dimensional renovation approach towards a dynamic and sustainable building stock*. [Thèse de doctorat, Vrije Universiteit Brussel].

Vicenzot, D. (2010). *Droixhe, la mixité en question(s)*. [Mémoire de master, Université de Liège]. Alma ULiège.

https://explore.lib.uliege.be/discovery/fulldisplay?docid=alma990017512200502321&context=L&vid=32ULG_INST:ULIEGE&lang=fr&search_scope=ULIEGE&adaptor=Local%20Search%20Engine&tab=ULIEGE&query=any,contains,droixhe%20li%C3%A8ge&facet=rtype,include,dissertations&offset=0&pcAvailability=true&searchInFulltext=true

Sites internet

Belgian Science Policy. (n.d). *Apartment Building, Wezembeek-Oppem*. LEHR. <https://lehr.be/EN-P-Sterrenveld.htm>

Des loggias en bois valorisent des logements sociaux. (n.d.). Le Moniteur. <https://www.lemoniteur.fr/article/des-loggias-en-bois-valorisent-des-logements-sociaux.1919559>

Groupe Arcane Architectes. (n.d). *433 logements. Saint-Pierre-les-Corps. La Rabaterie*. Groupe Arcane Architectes. <https://groupe-arcane.com/projet/433-logements-saint-pierre-des-corps-la-rabaterie/>

Secrétariat général du Conseil de l'Union européenne. (2021). *Vague de rénovations : créer des bâtiments écologiques pour demain*. Conseil européen Conseil de l'Union européenne. <https://www.consilium.europa.eu/fr/infographics/renovation-wave/>

Service public de Wallonie. (n.d). *Construction durable*. Le développement durable en Wallonie. <https://developpementdurable.wallonie.be/themes/construction-durable>

Service public de Wallonie. (2021). *Exigences PEB et électromobilité à partir du 11 mars 2021*. Site énergie du Service public de Wallonie. <https://energie.wallonie.be/fr/exigences-peb-electromobilite.html?IDC=9136>

Virtual architecture. (n.d). *Requalification d'une Cité de 264 logements en 4 immeubles*. virtual architecture. <http://www.virtuel.fr/requalification-dune-cite-de-264-logements-en-4-immeubles>

Rapports

Architecture et Climat. (2016). *Rapport du projet SUD - Sustainable Urban Design : réflexion sur les réponses architecturales aux enjeux du développement durable*. En ligne : <https://energie.wallonie.be/servlet/Repository/20140429-aie41-rapport-final-wallon-pad.pdf?IDR=32285> (dernière consultation le 31.05.2022)

De Meyer, A., Detroz, J., Feldheim, V., Hauglustaine, J.-M., Mouton, C. (2013). *CO-ZEB Rapport final du projet (2) Définition des bâtiments de référence pour le résidentiel*. p. 8. <https://energie.wallonie.be/servlet/Repository/cozeb-rapport-final.pdf?ID=28472>

Centre d'Etude, de Recherche et d'Action en Architecture asbl. (2008). *L'application de principes de la maison passive en région de Bruxelles-Capitale. Rapport final*. En ligne : [https://www.ceraa.be/uploads/realisations/Rapport final Passif BXL 080620%20\(1\).pdf](https://www.ceraa.be/uploads/realisations/Rapport%20final%20Passif%20BXL%20080620%20(1).pdf)

Conseil d'administration. (2016). *Rapport annuel. 88^{ème} exercice social*. Disponible en ligne : <https://docplayer.fr/58740331-Rapport-annuel-88-eme-exercice-social-rapport-du-conseil-d-administration-a-l-assemblee-generale-ordinaire.html>

Crahay, A. (2021). « *Good Living* ». *Rapport de la Commission d'experts*. Disponible en ligne : <https://urbanisme.irisnet.be/pdf/good-living-rru-rapport-experts-fr-20211022-aspubl.pdf/view>

Hauglustaine, J.-M., Simon, F. (2018). *Le ventilation et l'énergie. Guide pratique pour les architectes*. Disponible en ligne : <https://energie.wallonie.be/servlet/Repository/cozeb-rapport-final.pdf?ID=28472>

IWEPS. (2023). *Part de la population vivant dans un logement humide*. <https://www.iweps.be/wp-content/uploads/2023/12/I010-POP.PROB .LOG-122023 Full1.pdf>

MATRIciel sa. (2009). *Projet RELOSO. Etude pour le renouveau du logement social. Identification des besoins et des enjeux*.

SERVICE PUBLIC DE WALLONIE, SPW Energie. (2020). *Stratégie wallonne de rénovation énergétique à long terme du bâtiment*, (Rapport acté par le gouvernement wallon en novembre 2020). p.4. <https://energie.wallonie.be/servlet/Repository/gw-201112-strategie-renovation-2020-rapport-complet-final.pdf?ID=60498>

SERVICE PUBLIC DE WALLONIE, SPW Energie. (2021). *Exigences PEB et électromobilité à partir du 11 mars 2021*. Site énergie du Service public de Wallonie. <https://energie.wallonie.be/fr/exigences-peb-electromobilite-a-partir-du-11-mars-2021.html?IDC=7224&IDD=149405>

Autres

Arrêté du Gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale du 21 novembre 2006 établissant les normes d'habitabilité des logements. urban.brussels

Commission européenne (2020). Communication de la Commission au Parlement européen, au Conseil, au Comité économique et social européen et au Comité des Régions : « Une vague de rénovations pour l'Europe: verdir nos bâtiments, créer des emplois, améliorer la qualité de vie », COM(2020) 662 final, 14 octobre 2020, Bruxelles.

Commission européenne (2016). Communication de la Commission : « Une énergie propre pour tous les Européens », COM(2016) 860 final, 30 novembre 2016, Bruxelles.

Eggerickx, T., Poulain, M. (1990). Les phases du processus d'urbanisation en Belgique de 1831 à 1990. Dans AIDELF (Dir.), *Croissance démographique et urbanisation. Politiques de peuplement et aménagement du territoire* (pp.83-92).

La Maison Liégeoise. (1996). 75ème anniversaire. Liège : La Maison Liégeoise.

LAN Architecture. (2015, Juillet). *LAN Dossier de presse*. Disponible en ligne : https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/lan-test/projects/project_files/lormont/DP_LAN_LOR_FR.pdf?mtime=20160425193435

Larousse. (n.d). Structure porteuse. Dans *Dictionnaire en ligne*. Consulté le 23 août 2023 sur <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/structure/74918>

Le Parlement européen et le Conseil de l'Union européenne. *DIRECTIVE 2010/31/UE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 19 mai 2010 sur la performance énergétique des bâtiments (refonte)*. Journal officiel, n°153 du 18 juin 2010, pp. 13-35. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:fr:PDF>

Le Parlement européen et le Conseil de l'Union européenne. *DIRECTIVE (UE) 2018/844 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 30 mai 2018 modifiant la directive 2010/31/UE sur la performance énergétique des bâtiments et la directive 2012/27/UE relative à l'efficacité énergétique (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE)*. Journal officiel, n°156 du 19 juin 2018, pp.75-91. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0844>

Lepoutre, M., Marino, M., Ohmer, S., & Requier, B. (2015). *Travail de synthèse sur Droixhe* (Faculté d'architecture de l'Université de Liège). Histoire de la ville : Questions approfondies, Pierre Frankignoulle.

Notes de cours

Dartevelle, O. (2022, 02 décembre). *Sciences et technologies 3. Partie intégration spatiale des installations techniques*. Sciences et techniques 3. (Slides de cours). Université de Liège - Faculté d'Architecture.

Médiagraphie

RTC Tele Liège. (2012, 03 mai). *Rénovation de la tour Match à Droixhe* [Vidéo].
https://www.rtc.be/video/info/renovation-de-la-tour-match-a-droixhe_1487118_325.html

Table des illustrations

Fig. 1 - Pourcentage d'habitations wallonnes dotées, selon leur époque de construction, d'une isolation des murs	12
Fig. 2 - Consommation d'énergie selon le secteur; 2021	14
Fig. 3 - Evolution des émissions de GES des bâtiments en Wallonie et objectifs à 2030 et 2050	16
Fig. 4 - Exigences PEB - Procédures selon la nature des travaux.....	16
Fig. 5 - Tableau des exigences en fonction de la nature des travaux	18
Fig. 6 - Proportion de personnes vivant dans un logement avec un taux d'humidité trop élevé	18
Fig. 7 - Plan d'un étage type d'un immeuble de la plaine de Droixhe à Liège.....	30
Fig. 8 - Cuisine dans un appartement d'un immeuble sur la plaine.....	30
Fig. 9 - Salon et salle à manger dans un appartement d'un.....	30
Fig. 10 - Identification d'un pont thermique à la jonction du balcon et de la façade	32
Fig. 11- Dégradation du béton due à la carbonatation	34
Fig. 12 - Réparation des dégradations.....	34
Fig. 13 - Nombre d'habitations sociales mises en chantier annuellement.....	44
Fig. 14 - Evolution de construction de logements sociaux en Belgique (1920-2005).....	44
Fig. 15 - Wooncomplex Jos Van Geelaan.....	49
Fig. 16 - Bâtiment Sterrenveld	49
Fig. 17 - Tour de la plaine de Droixhe.....	49
Fig. 18 - Circulation verticale et horizontale.....	50
Fig. 19 - Accès horizontal aux différents logements	50
Fig. 20 - Plan avec circulation centrale	52
Fig. 21 - Plan avec circulation latérale.....	52
Fig. 22 - Plan avec couloir intérieur.....	52
Fig. 23 - Plan coursive extérieure	52
Fig. 24 - Tableau récapitulatif des types de circulations	55
Fig. 25 - Un réseau de cavités techniques.....	56
Fig. 26 - Positionnement des gaines techniques.....	56
Fig. 27 - Vue satellite de la plaine de Droixhe	61
Fig. 28 - Pied d'un immeuble à Droixhe	67
Fig. 29 - Barre de logements à Droixhe.....	67
Fig. 30 - Carte de Liège reprenant les grands ensembles d'après-guerre.....	71
Fig. 31 - Construction de la tour Match	75
Fig. 32 - Eléments structurels préfabriqués	75
Fig. 33- La facade de la tour Match	78
Fig. 34 - Socle de la tour Match.....	78
Fig. 36 - Elévation de la structure primaire	85
Fig. 35 - Coupe de la structure primaire	85
Fig. 37 - Détail en élévation et en plan du balcon de la tour Match	87
Fig. 38 - Section du balcon de la tour Match	88

Fig. 39 - Ensoleillement des balcons en hiver	89
Fig. 40 - Ensoleillement des balcons en été.....	89
Fig. 41 - Ensoleillement 7h00 en été	91
Fig. 42 - Ensoleillement 10h00 en été et hiver	91
Fig. 43 - Ensoleillement 12h00 en été et en hiver.....	91
Fig. 44 - Ensoleillement 16h00 en été et hiver	92
Fig. 45 - Ensoleillement 18h00 en été	92
Fig. 46 - Ensoleillement 20h00 en été	92
Fig. 47 - Ventilation naturelle	93
Fig. 48 - Paroi froide.....	93
Fig. 49: Plan de la tour Atlas réalisé par l'auteur	98
Fig. 50 - Salon d'un logement de la tour Match.....	99
Fig. 51 - Vue bi-orientée dans le salon d'un logement de la tour Match.....	99
Fig. 52 - Cuisine avant les travaux de rafraichissement	100
Fig. 53 - Cuisine après les travaux de rafraichissement.....	100
Fig. 54 - Salle de bains.....	101
Fig. 55 - Cuisine.....	101
Fig. 56 - Couloir collectif	102
Fig. 57 - Ascenseurs	102
Fig. 58 - Rapport avec voisinage	104
Figure 59 - Normes pour ascenseurs.....	105
Fig. 60 - Apparition de moisissures.....	107
Fig. 61 - Bouche de ventilation bouchée	107
Fig. 62 - Tableau des exigences de valeurs U max.....	107
Fig. 63 - Tableau avec les hauteurs sous-plafond minimales.....	109
Fig. 64 - Balcon habité par des pigeons.....	109
Fig. 65 - Pont thermique généré au niveau du balcon	113
Fig. 66 - Composition du mur existant	115
Fig. 67 - Les différents composants du mur existant.....	115
Fig. 68 - Composition du mur rénové.....	115
Fig. 69 - Les différents composants du mur rénové	115
Fig. 70 - Immeuble avant les travaux de rénovation.....	121
Fig. 71 - Immeuble avec les extensions de cuisine et des balcons	121
Fig. 72 - Chantier de la rénovation	122
Fig. 73 - L'extension de la cuisine et l'ajout des terrasses	122
Fig. 74 - Intérieur de l'intérieur de l'extension de la cuisine	122
Fig. 75 - Plan d'un étage type	123
Fig. 76 - Immeuble avant les travaux de rénovation	125
Fig. 77 - Surface supplémentaire apportée par les extensions.....	125
Fig. 78 - Ajout de balcons et de jardins d'hiver après la rénovation	125
Fig. 79 - Les tours La Rabaterie.....	126
Fig. 80 - Vue de la terrasse dans le jardin d'hiver.....	126
Fig. 81 - L'entrée de l'immeuble rénové	126
Fig. 82 - Plan type d'un étage	127
Fig. 83 - Immeuble garni de de boîtes multifonctionnelles	129

Fig. 84 - Immeuble avant la rénovation	129
Fig. 85 - Grue avec module préfabriqué.....	130
Fig. 86 - Scénario 1 d'aménagement de l'extension	130
Fig. 87 - Grue avec module préfabriqué.....	130
Fig. 88 - Plan étage type	131
Fig. 89 - Immeuble avant les travaux de rénovation.....	133
Fig. 90 - Immeuble après ajout de jardins d'hiver	133
Fig. 91 - Coupe montrant les extensions.....	134
Fig. 92 - Connexion extension et bâtiment existant.....	134
Fig. 93 - Détail ancrage de l'extension	134
Fig. 94 - Plan étage type	135
Fig. 95 - Immeuble avant la rénovation	137
Fig. 96- Ajout des extensions sous forme de boites habitables	137
Fig. 97 - L'immeuble Potiers 2.....	138
Fig. 98 - Assemblage extension-bâtiment existant	138
Fig. 99 - Plan étage type.....	139
Fig. 100 - Immeuble avant les travaux de rénovation	141
Fig. 101 - Immeuble avec ajouts de balcons.....	141
Fig. 102 - Axonométrie	142
Fig. 103 - Les extensions de la tour Peterbos	142
Fig. 104 - Plan étage type	143
Fig. 105 - Tour avant les travaux de rénovation	147
Fig. 106 - Extensions ajoutées après la rénovation	147
Fig. 107 - Jardin d'hiver de la tour Bois-le-Prêtre	148
Fig. 108 - Jardin d'hiver de la tour Bois-le-Prêtre	148
Fig. 109 - Détail d'ancrage de l'extension à la structure existante	148
Fig. 110 - Plan étage type	149
Fig. 111 - Immeuble avant la rénovation énergétique.....	151
Fig. 112 - Ensemble de loggias fixées à la structure existante.....	151
Fig. 113 - Coupe Avant/Après	152
Fig. 114 - Différents scénarios d'occupation.....	152
Fig. 115 - Plan étage type	153
Fig. 116 - Immeuble avant les travaux pour l'installation d'extensions.....	155
Fig. 117 - Façade complétée avec les terrasses et jardins d'hiver.....	155
Fig. 118 - La structure indépendante des extensions	156
Fig. 119 - Espace tampon.....	156
Fig. 120 -Plan étage type.....	157
Fig. 121 - Application du vent sur les bâtiments	172
Fig. 122 - La rénovation de la tour Saint-Hilaire.....	180
Fig. 123 - Axonométrie du scénario 1	181
Fig. 124 - Séquence de plan du scénario 1	181
Fig. 125 - La tour Bois-le-Prêtre après rénovation	184
Fig. 126 - Axonométrie du scénario 2	185
Fig. 127 - Séquence du plan du scénario 2.....	185
Fig. 128 - Immeuble à Bondy après rénovation.....	188

Fig. 129 - Axonométrie du scénario 3	189
Fig. 130 - Séquence du plus du scénario 3.....	189
Fig. 131 - L'immeuble Potiers 2 après la rénovation	192
Fig. 132 - Séquence du plan du scénario 4	193
Fig. 133 - Séquence du plan du scénario 4	193

Annexes

Annexe 1 - Plan du parking de la tour Match (GAR)

