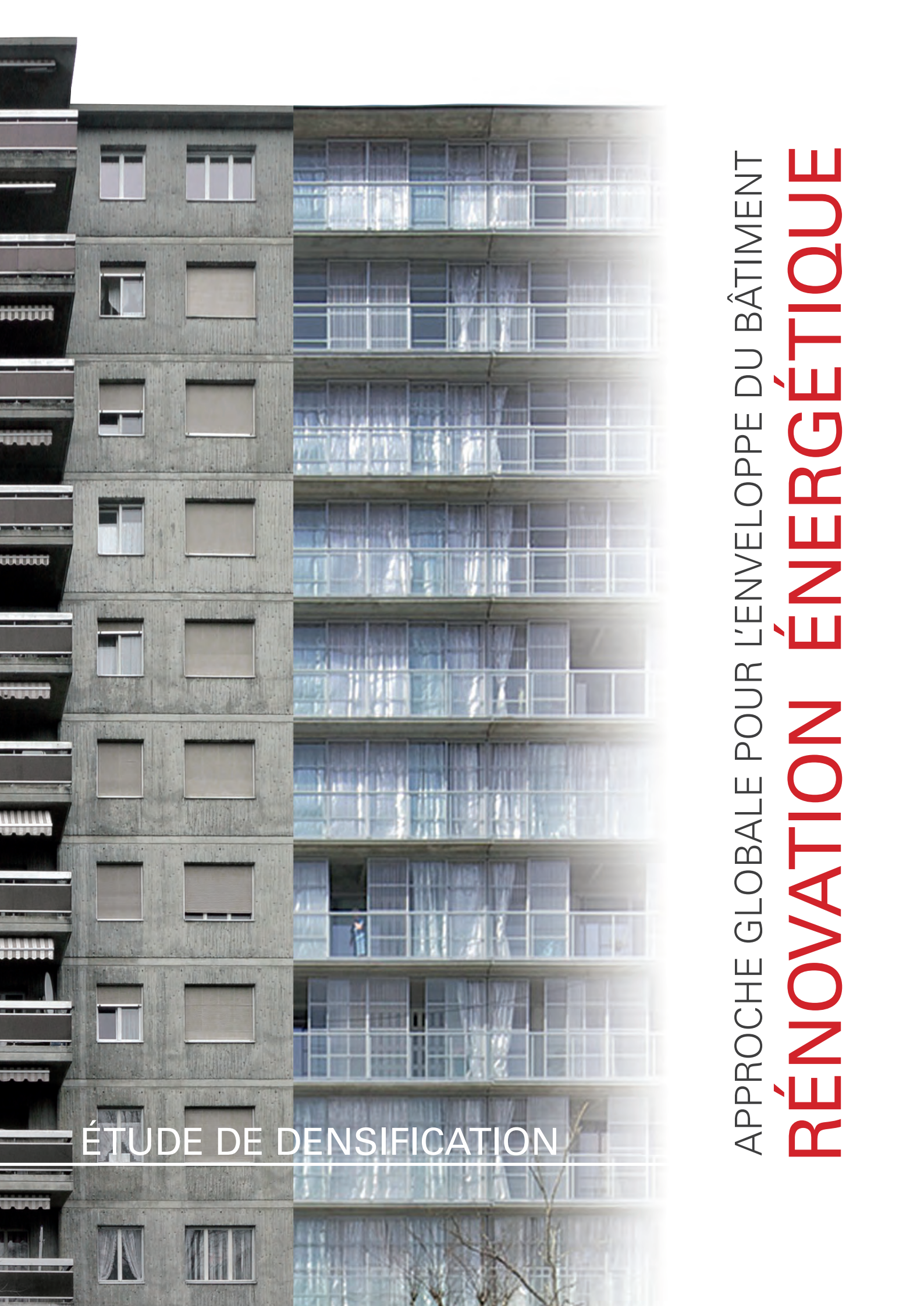




ÉTUDE DE DENSIFICATION

APPROCHE GLOBALE POUR L'ENVELOPPE DU BÂTIMENT
RÉNOVATION ÉNERGÉTIQUE

IMPRESSUM

ÉDITEUR

Institut d'architecture TRANSFORM
Haute école d'ingénierie et d'architecture de Fribourg
Halle Bleue
Passage du Cardinal 13B – CH-1700 Fribourg
Stefanie Schwab, stefanie.schwab@hefr.ch

Institut du Paysage, d'Architecture, de la Construction et du Territoire, inPACT
Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève
Rue de la Prairie 4 – CH-1202 Genève
Lionel Riquet, lionel.riquet@hesge.ch

Institut iTEC (Institute of Construction and Environmental Technology)
Haute école d'ingénierie et d'architecture de Fribourg
Boulevard de Pérolles 80 – CH-1700 Fribourg
Mylène Devaux, mylene.devaux@hefr.ch

ÉQUIPE DE PROJET

Stefanie Schwab, Grégory Jaquerod, Jean-Luc Rime (institut TRANSFORM)
Lionel Riquet, Peter Gallinelli, Guillaume Rey (institut inPACT)
Mylène Devaux, Marielle Hayeck (institut iTEC)

IMPRESSION

Exemplaires imprimés en mai 2018.
Cette publication est composée d'une brochure et 6 fiches d'études de cas.

TABLE DES MATIÈRES

Impressum	02
Table des matières	03
Abstract	05
01 Potentiel de densification	07
02 Cadre légal	17
03 Architecture et usage	19
04 Efficience énergétique	25
05 Économie	29
06 Synergies et contraintes	31
07 Conclusion	41
08 Check-list	43
09 Note sur les calculs d'actualisation	46
10 Méthodologie «Quick assessment»	47
11 État de l'art	50
Bibliographie	51
Crédits photographiques	
Les 6 études de cas – fiches synthétiques	
étude de cas 01 – 1901	
étude de cas 03 – 1939	
étude de cas 05 – 1970	
étude de cas 06 – 1972	
étude de cas 07 – 1975	
étude de cas 09 – 1980	

ABSTRACT

Deux législations récentes vont profondément impacter le développement territorial, économique et social en Suisse ces prochaines décennies, la révision de la loi sur l'aménagement du territoire (LAT-2013) et la loi sur l'énergie (LEne – 2017). La densification des centres urbains passe par la valorisation et la densification des structure existantes. Les interventions lourdes sur un immeuble étant rares, il semble absurde de densifier sans procéder une rénovation énergétique des parties existantes ou inversement. C'est pourtant ce qui se fait dans de nombreux cas.

Le projet eREN2, qui s'inscrit dans la continuité du projet eREN, a pour objectif d'étudier le potentiel de densification et les synergies possibles entre rénovation énergétique et densification sur un échantillon de 6 cas réels, tirés d'eREN, représentatifs de la production de logement collectif en Suisse romande au 20ème siècle.

En d'autres termes:

- Quel est le potentiel réel de densification des principaux types d'immeubles existants, en termes structurels, réglementaires, spatiaux et constructifs?
- La densification couplée à une rénovation permet-elle d'optimiser la consommation énergétique de l'immeuble par rapport à une rénovation énergétique simple?
- L'ajout de nouvelles surfaces locatives permet-il de compenser le coûts des travaux de rénovation et d'agrandissement?

L'objectif du projet n'est pas de proposer une nouvelle méthode d'évaluation pour des projets de densification, mais de comparer des scénarios de rénovation de l'enveloppe avec densification conformes aux pratiques du marché aux scénarios de rénovation énergétiques eREN.

La méthode (qui reprend pour l'essentiel celle du projet eREN) est basée sur une approche multicritère : cadre légal - architecture et usage—efficacité énergétique - économie – synergies et contraintes.

Six stratégies de densification (du remplacement des balcons aux agrandissements horizontaux et verticaux) ont été définies et une stratégie pertinente a été choisie pour chacun des cas d'étude compte tenu de ses caractéristiques. Cette stratégie a ensuite été analysée sous l'angle des critères réglementaires et constructifs, puis développée sous la forme d'un scénario de projet détaillé.

Le coût des travaux de chaque scénario a été chiffré et comparé avec le coût de la rénovation seule et avec celui d'un entretien usuel. Le même travail a été effectué en matière de consommation d'énergie pour le chauffage. Des fiches de synthèse résument les résultats pour chacun des bâtiments et complète l'approche globale eREN.

L'étude eREN2 a permis de vérifier qu'un travail conséquent est à mener au niveau des cadres légaux urbanistiques pour les aligner sur les objectifs de la LAT en matière de densification. L'étude relève que le potentiel de surélévation (en dehors des limites posées par les règles urbanistiques) est contraint par les considérations structurelles et parasismiques, ce qui limite souvent les surélévations à deux étages. Les directives de protection incendie sont aussi un obstacle si le scénario fait basculer l'immeuble dans la catégorie « grande hauteur » (plus de 30 mètres), avec des exigences largement accrues pour la résistance structurelle, les voies d'évacuation, les matériaux, etc., souvent impossibles à satisfaire ou disproportionnées par rapport au projet de base.

Le projet démontre que la densification permet d'améliorer l'efficacité énergétique par rapport à un assainissement simple, de manière peu spectaculaire, mais avérée. Elle a donc un sens dans la perspective de la transition énergétique. Pour l'ensemble des cas et par rapport au scénario de rénovation seule, la densification a permis de réduire le besoin de chaleur pour le chauffage par mètre carré tant en valeur pondérée pour l'ensemble de l'immeuble (en moyenne -16 MJ/m² an, -13%) que pour la partie rénovée seule (en moyenne -14 MJ/m² an, -12%).

Il démontre aussi que, passée au crible d'un calcul de rentabilité tels que ceux pratiqués par les professionnels de l'immobilier, les scénarios proposés (densification combinée à une rénovation énergétique) n'offrent pas de synergies économiques. Mais la situation est susceptible de changer en fonction de la situation du marché et de la sensibilité des locataires et propriétaires aux questions environnementales.

Il demeure que les projets d'intervention sur l'existant et à fortiori ceux qui la combinent avec une densification sont des processus interdisciplinaires complexes qui nécessitent une approche globale et des professionnels qualifiés. Cela a un coût et cette réalité n'est pas systématiquement acceptée du côté des propriétaires.

Finalement, alors que la majorité s'accorde pour dire que la transition énergétique est une nécessité, notre société n'a jamais autant consommé, en particulier d'espace et d'énergie. Le projet eREN2, en tentant de produire des scénarios conformes aux attentes du marché est confronté à ce paradoxe. Une densification consisterait à loger plus de personnes sur la même surface au sol mais lorsque les projets d'extension, sous couvert de densification, tendent seulement à améliorer le confort et le standing des logements, le but n'est pas atteint. Un enjeu crucial sera de gérer cette contradiction et de dégager des compromis acceptables tant du point de vue de la durabilité que de celui des individus soucieux de leur confort.

POTENTIEL DE DENSIFICATION

CONTEXTE ET ENJEUX

Avec 1,64 million d'immeubles d'habitation, le domaine du bâtiment représente un consommateur majeur d'énergie en Suisse. La rénovation énergétique du parc immobilier national existant, vieillissant et gourmand en énergie, est un des enjeux principaux de la stratégie énergétique 2050 de la confédération qui prévoit un renforcement du Programme Bâtiments afin d'augmenter le taux de rénovation énergétique du parc bâti.

Le projet eREN¹ et l'étude eREN-P² ont permis d'identifier les caractéristiques constructives et les problématiques des principaux types d'immeubles d'habitation en Suisse romande et de proposer des scénarios de rénovation énergétique adaptés qui tiennent compte des enjeux architecturaux, énergétiques, techniques et économiques. Les résultats montrent qu'il est possible de développer des solutions sur mesure qui atteignent les exigences globales en matière d'énergie tout en respectant le caractère architectural et les particularités constructives du bâtiment. Il a également été montré que cela pouvait être réalisé pour un coût équivalent à celui des solutions standard d'«emballage» par de l'isolation périphérique.

Les opérations de rénovation énergétiques se heurtent pourtant à une réalité économique. Premièrement, les gains en consommation d'énergie, au prix actuel de l'énergie, compensent rarement à eux seuls les frais engendrés par les travaux d'assainissement³. Deuxièmement dans le cas des immeubles de rendement le bénéfice des économies d'énergie revient aux locataires et il est souvent difficile pour le propriétaire de répercuter sur ces derniers l'entier du coût des travaux⁴. Troisièmement une adaptation des loyers pour cause d'assainissement énergétique implique qu'ils soient recalculés d'après le taux hypothécaire de référence actuel historiquement bas, avec un risque avéré qu'ils soient plus bas après les travaux qu'avant⁵. Quatrièmement, malgré une récente détente le marché du logement dans les grands centres urbains reste en situation de pénurie⁶ ce qui n'incite pas les propriétaires à améliorer la qualité des logements proposés. Cinquièmement les entreprises et mandataires qualifiés capables de mener à bien ce genre de travaux, souvent plus complexes qu'il n'y paraît, sont encore trop rares sur le marché.

Une rénovation permet certes de maintenir voire d'augmenter la valeur vénale de l'immeuble et de s'insérer dans une démarche d'exemplarité, mais l'incitation majeure pour de nombreux propriétaires à rénover leurs biens tient sans doute plus à un effet d'aubaine associant vétusté, subventions et éventuellement renouvellement de la population des locataires qu'au seul facteur énergétique. L'enjeu consiste donc à convaincre les propriétaires qui ne profitent pas directement des économies d'énergie et dont les immeubles ne sont pas menacés par une trop grande vétusté de rénover leur bien dans les règles de l'art et de diminuer leur consommation énergétique, tout en garantissant une hausse de loyers modérée et apporter une réelle plus-value pour les usagers.

La révision de la loi fédérale sur l'aménagement du territoire (LAT) du 1^{er} mai 2014 impose une densification du tissu bâti pour limiter la consommation de terrain et pour lutter contre le mitage du territoire. Mise en lien avec les révisions des plans partiels d'affectation (PPA), des plans d'aménagement local (PAL) et des plans de quartiers, la nouvelle LAT ouvre des opportunités pour les assainissements avec extension et/ou surélévation. Les professionnels de l'immobilier ont rapidement reconnu le potentiel et nombreuses sont les études pour des projets de densification qui ont de surcroît l'avantage de pouvoir être mis en œuvre sans avoir à reloger les occupants existants, tâche souvent insurmontable dans des environnements en proie à la pénurie de logements.

La densification sous forme de surélévation ou extension pourrait être spatialement et structurellement faisable pour plusieurs modèles de bâtiments et permettrait à la fois de répondre (en partie) aux objectifs de la LAT et pourrait présenter un potentiel d'optimisation économique (augmentation de l'état locatif) et énergétique intéressant si une rénovation énergétique des parties existantes est mise en œuvre dans le même temps. Cette hypothèse doit cependant être vérifiée.

Les questions auxquelles la présente étude se propose de répondre sont:

- Quel est le potentiel réel de densification des principaux types d'immeubles existants, en termes réglementaires, spatiaux, constructifs?
- La densification permet-elle d'optimiser la consommation énergétique de l'immeuble?
- L'ajout de nouvelles surfaces locatives permet-il de compenser le coût des travaux d'assainissement et d'agrandissement?

- 1 Rénovation énergétique – Approche globale pour l'enveloppe du bâtiment, Stefanie Schwab, Lionel Riquet, Grégory Jaquerod, Guillaume Rey, Stéphane Citherlet, Didier Favre, Sébastien Derve, Gilbert Morand, Jean-Luc Rime, Reto Camponovo, Peter Gallinelli, juin 2016, ISBN 978-2-9701005-2-2.
- 2 Rénovation énergétique – Approche globale pour l'enveloppe du bâtiment, étude complémentaire - isolation périphérique, Stefanie Schwab, Lionel Riquet, Grégory Jaquerod, Guillaume Rey, Peter Gallinelli, Jean-Luc Rime, octobre 2017.
- 3 Rénovation à faible impacts environnementaux dans le domaine de l'habitation, ECO Reno, Jacques Bony, Stéphane Citherlet et al., OFEN, 2015 et étude eREN.
- 4 Référence à OBFL, LDTR/GE et LPPPLVD.
- 5 De la conciliation des intérêts entre propriétaires et locataires en matière de transition énergétique à de nouvelles mesures de politiques publiques, Katia Horber-Parpazian, Marion Baud-Lavigne, Fabien Poudière, Jacopo Klaus, In Volteface, La transition énergétique: un projet de société, Nelly Niwa & Benoît Frund, 2018, Editions d'en bas, ISBN 978-2-8290-0570-1.
- 6 Real Estate Focus 2018, UBS Switzerland AG, 2018, n° SAP 83518F-1801.

MÉTHODOLOGIE

Le projet eREN2 s'inscrit dans la continuité du projet eREN. L'objectif du projet n'est pas de proposer une nouvelle méthode d'évaluation pour des projets de densification, mais de comparer des scénarios de rénovation de l'enveloppe avec densification aux scénarios de rénovation énergétique eREN.

La méthode qui reprend pour l'essentiel celle du projet eREN, est basée sur une approche globale multicritère: cadre légal - architecture et usage – énergie – économie – synergies et contraintes.

Dans un premier temps, six stratégies de densification ont été définies [voir chapitre stratégies de densification]. Une première analyse a identifié quelles stratégies étaient pertinentes pour chacun des dix bâtiments de l'échantillon eREN sous l'angle du cadre légal, de l'architecture et de l'usage. Six bâtiments de l'échantillon ont été retenus pour être étudiés plus en détail et pour chacun d'entre eux un scénario d'extension a été développé [voir page 13]. Les besoins de chaleur pour le chauffage ont été calculés pour les six scénarios afin de les comparer aux résultats eREN. Les coûts des travaux des scénarios ont été chiffrés pour les comparer avec le coût de la rénovation seule et avec le coût d'un entretien usuel permettant de maintenir le bâtiment en état de fonctionnement. Les synergies et contraintes ont été identifiées pour les six scénarios. L'aspect de la sécurité sismique des bâtiments a été approfondi au travers d'une méthode de type «Quick assessment» [voir chapitre 10] développée par l'institut ITEC. Trois bâtiments ont fait l'objet d'une analyse approfondie à l'aide de la méthode du spectre de réponse.

Les résultats des six bâtiments ont été documentés dans des fiches synthétiques [voir fiches annexées].

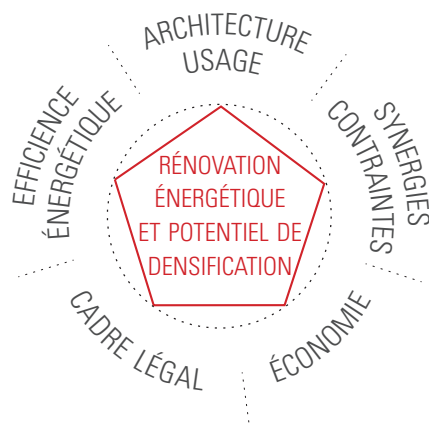


Fig. 01 Objectifs à considérer lors de la densification et la rénovation énergétique de l'enveloppe des bâtiments.

Les six bâtiments de l'échantillon étant localisés dans trois cantons différents (Fribourg, Vaud et Genève), il a été décidé de faire abstraction des spécificités cantonales en matière de subventions, de fiscalité et de plafonnement des loyers (LDTR), ou d'obligation d'installation d'énergies renouvelables, ceci afin de travailler avec un cadre de référence unique et de mettre les scénarios sur un pied d'égalité au niveau économique. Les adaptations de loyer sont calculées selon l'OBFL. Ce parti pris est susceptible de biaiser des réalités locales qui s'appliqueraient à un projet réel sur les objets sélectionnés. Les scénarios développés doivent donc être considérés dans cette optique et non pas comme représentatifs de projets totalement intégrés dans leur contexte.

Pour les questions touchant au cadre légal urbanistique, les réglementations locales ont été appliquées, mais cela n'a globalement pas d'impact dans les calculs économiques des scénarios étudiés. Les autres dispositions (AEAL, LHand, etc.), étant applicables au niveau fédéral, sont appliquées indifféremment à tous les cas d'étude.

Lorsque le scénario implique un assainissement combiné à une surélévation ou un agrandissement horizontal, l'ampleur prise par le projet impliquera que les installations techniques (production et distribution de chaleur, installations de ventilation, etc.) soient passées en revue et, en fonction de leur vétusté ou de leur inadaptation aux nouvelles conditions, remplacées et redimensionnées. Les éventuelles interventions sur les installations techniques des cas d'étude n'ont pas été prises en compte dans cette étude.

Ce parti pris est justifié par la volonté de pouvoir comparer les résultats d'eREN2 avec ceux d'eREN qui se concentrait exclusivement sur l'enveloppe des bâtiments et par les limites posées par les moyens à disposition. Les auteurs ont bien conscience que ce parti pris éloigne l'étude des pratiques réelles du marché et que dans ce sens il est discutable. Il ne remet cependant pas en cause les conclusions de l'étude.

DÉFINITION DES OBJECTIFS

Le projet eREN a défini les objectifs d'une rénovation énergétique de l'enveloppe sous cinq angles: architecture et patrimoine, construction et physique, efficacité énergétique, économie, co-bénéfices et co-pertes. Lors d'un projet de rénovation énergétique accompagnée d'une densification de l'immeuble, les contraintes différentes rentrant en jeu pour la partie nouvelle nécessitent une redéfinition des objectifs. Les co-bénéfices et les co-pertes deviennent souvent légalement contraignants et doivent être compris comme des synergies ou des contraintes. Les objectifs d'une rénovation énergétique avec densification ont été regroupés selon cinq thématiques qui sont le cadre légal, l'architecture et l'usage, l'efficacité énergétique, l'économie et les synergies et contraintes.

Dans une première étape, l'état existant des bâtiments a été évalué selon une «check-list établie dans le cadre du projet [voir chapitre 09].

1 Cadre légal

Respecter le cadre légal en vigueur, en particulier:

- 1 Les lois et la réglementation urbanistique (par exemple: limite construction, gabarit, indice / coefficient d'utilisation et d'occupation du sol)
- 2 Les prescriptions de protection incendie (directives AEAI)
- 3 La protection patrimoniale (éléments architecturaux ou constructifs protégés)
- 4 La loi (LHand), l'ordonnance (oHand) pour les personnes à mobilité réduite et la norme pour les constructions sans obstacle (SIA 500)
- 5 Les lois et les ordonnances de protection pour la santé (l'ordonnance sur la protection contre le bruit – OBP éd. 2016, l'ordonnance sur la protection de l'air – OPair éd. 2018, la protection contre les dangers pour la santé – SUVA, l'ordonnance sur la radioprotection – ORaP éd. 2018). Les lois et les ordonnances de protection contre les dangers naturels (notamment la sécurité parasismique, SIA 2018).

2 Architecture et usage

- 1 S'intégrer dans le contexte bâti
- 2 Préserver, reconstruire les caractéristiques ou modifier l'«image» du bâtiment
- 3 Offrir des espaces «extérieurs» adaptés aux standards actuels
- 4 Offrir des pièces d'une taille adaptée
- 5 Offrir des pièces supplémentaires
- 6 Augmenter le nombre de logements
- 7 Aménager les combles
- 8 Améliorer et / ou diversifier la typologie des logements
- 9 Maintenir ou augmenter le standing (cuisines, sanitaires, revêtements intérieurs)
- 10 Maintenir ou augmenter l'apport de lumière naturelle
- 11 Limiter l'impact des travaux pour les occupants

3 Efficacité énergétique

- 1 Améliorer énergétiquement des éléments de l'enveloppe et le confort thermique
- 2 Atteindre les exigences légales (au minimum les valeurs-limites de la SIA 380/1)
- 3 Résoudre les ponts thermiques

4 Économie

- 1 Maintenir / augmenter la valeur du bâtiment
- 2 Limiter la hausse des loyers*
- 3 Rentabiliser les investissements
- 4 Bénéficier des subventions*

5 Synergies et contraintes

- 1 Rénover un élément constructif vétuste (toiture, façades, fenêtres, balcons)
- 2 Prendre en compte les complexités constructives
- 3 Renforcer la résistance sismique
- 4 Mettre en conformité selon les directives incendie
- 5 Mettre en conformité les dispositifs contre la chute
- 6 Améliorer l'accessibilité aux personnes à mobilité réduite (accès, ascenseurs)
- 7 Améliorer la ventilation des espaces
- 8 Améliorer la protection contre le bruit*
- 9 Rénover les installations techniques existantes vétustes
- 10 Intégrer les énergies renouvelables*

* Objectifs pas considérés dans le cadre du projet.

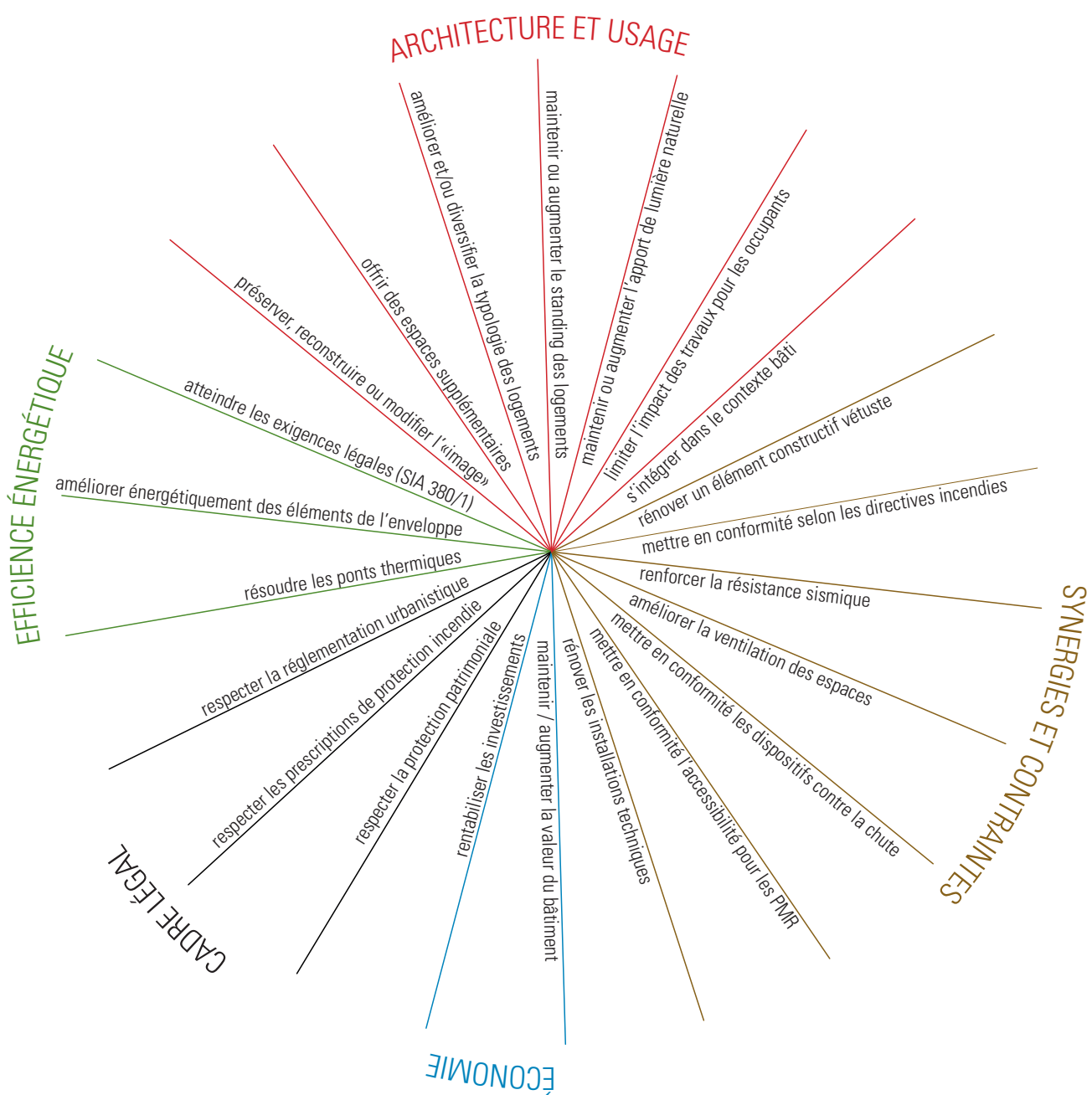


Fig. 02 Objectifs considérés dans le projet pour évaluer le scénario de densification et de rénovation énergétique de l'enveloppe des bâtiments.

STRATÉGIES DE DENSIFICATION

Sur la base de l'état de l'art [voir état de l'art page 50] et des objectifs de densification, six stratégies principales de densification⁷ ont été définies. Elles peuvent aussi se combiner. Chacune vise à optimiser l'efficacité énergétique, les synergies à trouver et la rentabilité de l'intervention. Elles ne pourront pas être appliquées toutes à chaque bâtiment, le choix dépendra de plusieurs critères tels que l'implantation dans le tissu urbain (en ordre contigu, en tête d'îlot, isolé), la typologie des logements et leur distribution, l'orientation des façades, les caractéristiques des espaces extérieurs (loggias, balcons en saillie), les capacités structurelles du bâtiment, la forme de la toiture (mansardé, avec une faible pente, plate), la vétusté des éléments de l'enveloppe.

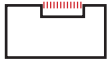
Seules les stratégies de densification liées à des travaux de rénovation énergétique du bâtiment ont été traitées dans le cadre du projet. Les stratégies de densification par une nouvelle construction, une construction de substitution ou par extension avec de nouveaux bâtiments ont été écartées puisqu'elles n'offrent pas de synergie directe avec des travaux d'assainissement énergétique. Parfois, la situation acquise⁸ de certains bâtiments permet de conserver une densité plus élevée qu'une reconstruction. Le projet a exclu aussi les stratégies portant uniquement sur la modification de la typologie intérieure des appartements par leur regroupement, leur réorganisation spatiale ou leur décloisonnement (l'objectif du projet est d'augmenter le nombre de logements ou leurs surfaces).

S01 Remplacer ou ajouter des balcons



Cette intervention concerne la modification du statut des balcons. Leur usage est parfois devenu obsolète à cause de dimensions trop petites. L'objectif est alors de remplacer les balcons existants par de nouveaux balcons plus grands et ainsi de supprimer les ponts thermiques.

S02 Fermer les balcons, les intégrer dans l'espace chauffé ou ajouter une couche non chauffée



Lorsque les espaces extérieurs sont situés dans une zone bruyante, il est possible de les fermer et les transformer en «jardin d'hiver» non chauffé pour offrir un prolongement au logement protégé du bruit. Cette solution atténue les ponts thermiques et réduit les déperditions de la façade.



L'ajout d'une «couche» non chauffée offre une zone de transition entre intérieur et extérieur en apportant des réponses esthétiques et en atténuant les ponts thermiques et les déperditions de la façade pour autant que ces espaces ne soient pas investis comme des espaces chauffés.



La modification de l'enveloppe thermique en intégrant les balcons dans l'espace chauffé de l'appartement permet de résoudre les ponts thermiques.

S03 Agrandir le volume (agrandir / ajouter des pièces)



Cette intervention a pour but de mettre aux standards l'aménagement (nouvelles pièces techniques telles que salles de bain ou cuisine), les surfaces actuelles (augmentation de la surface habitable de pièces inadaptées) des appartements ou offrir de nouvelles pièces habitables en améliorant thermiquement une ou plusieurs façades.

S04 Agrandir le volume (ajouter des appartements)



L'objectif d'une extension horizontale du volume est de densifier en offrant de nouveaux appartements en améliorant thermiquement une ou plusieurs façades. L'intervention propose une meilleure exploitation du sol, mais a des conséquences sur les espaces verts environnants.

S05 Aménager les combles



L'objectif est d'optimiser l'occupation du volume avec l'aménagement de nouveaux appartements en améliorant thermiquement le toit. Cette intervention dépend du volume à disposition, des gaines techniques et sorties en toiture. Les toitures mansardées sont favorables à ce type d'aménagement.

S06 Surélever le bâtiment



L'objectif est de densifier la parcelle avec l'aménagement de nouveaux appartements en améliorant thermiquement la toiture. L'intervention est particulièrement intéressante si une toiture présente un état de détérioration important, elle permet son assainissement et une amélioration thermique.

7 NB: il est nécessaire de préciser que toutes les stratégies ne correspondent pas stricto sensu à une densification résultant dans une augmentation du nombre de personnes susceptibles d'occuper les logements. Parler de densification lorsque l'opération consiste à agrandir des espaces extérieurs ou la surface de certaines pièces sans offrir de réelle possibilité de loger plus de monde, ce qui est le cas des stratégies S01 et S02 (et S03 dans certains cas) décrites ci-dessus, pourrait sembler abusif. Il a cependant été décidé de conserver ces stratégies par souci d'exhaustivité et pour en vérifier l'impact énergétique et économique et, par simplification, de les considérer sous l'appellation de densification.

8 voir cahier technique SIA 2047, chapitre 3.2.3 «Garantie situation acquise»

ANALYSE ET CHOIX DES ÉTUDES DE CAS

Afin de pouvoir comparer les solutions de rénovation énergétique d'eREN avec un scénario de rénovation avec densification, le postulat a été de développer une stratégie de densification pour un certain nombre de cas d'étude plutôt que d'étudier les six stratégies sur un même cas. Les six stratégies ont été évaluées sur les dix bâtiments de cas d'études eREN [voir figure 03] afin de retenir les plus pertinentes pour un développement plus approfondi (études constructives et structurelles). Six cas d'étude ont été retenus.

									
			S01	S02	S03	S04	S05	S06	
Avant guerre	Etude de cas 01		1901	✓	✓	✓	—	(✓)	✓
	Etude de cas 02		1911	✓	✓	—	—	(✓)	✓
Entre-guerres	Etude de cas 03		1939	—	✓	✓	—	✓	✓
Après-guerre	Etude de cas 04		1960	✓	✓	✓	✓	—	✓
Haute conjoncture	Etude de cas 05		1971	✓	✓	✓	✓	—	—
	Etude de cas 08		1970	—	✓	—	—	—	✓
	Etude de cas 06		1972	✓	✓	✓	✓	—	✓
crise pétrolière	Etude de cas 07		1975	✓	✓	✓	—	—	✓
premières réglementations	Etude de cas 09		1980	✓	✓	✓	—	—	✓
	Etude de cas 10		1988	✓	✓	✓	✓	—	✓

Fig. 03 Tableau récapitulatif de l'évaluation des six stratégies pour les dix cas d'étude.

- ✓ stratégie favorable
- (✓) stratégie favorable déjà réalisée
- ✓ stratégie peu favorable
- stratégie pas réalisable

De manière générale, les bâtiments situés en périphérie des villes, de 4 à 6 étages, non contigus construits entre 1950 et 1980 et dépouillés d'éléments décoratifs avec généralement une toiture à faible pente et des combles froids [voir études de cas 04 et 06] sont favorables aux plus larges choix de stratégies (exception faite de l'aménagement des combles à cause de leur faible hauteur sous la charpente).

Les stratégies intervenant sur les espaces extérieurs existants [voir stratégies de densification S01 et S02] sont favorables dans pratiquement tous les cas d'études, à l'exception de deux bâtiments [études de cas 03 et 08] avec des loggias et une situation en limite de propriété et de voie publique, où il n'est pas envisageable de démolir les espaces extérieurs pour en reconstruire de plus grands ou ajouter une «couche» non chauffée.

L'agrandissement du volume [voir stratégies de densification S03 et S04] n'est généralement pas réalisable dans les bâtiments [études de cas 01, 02 et 03] situés en centre-ville, à cause de la mitoyenneté des immeubles ou de la proximité des immeubles environnements (respect des distances de sécurité incendie). Dans les ensembles des années 70 à 80 [études de cas 05 et 08], situés en périphérie des villes, la possibilité d'agrandissement du volume se limite souvent aux deux «têtes» de la barre.

L'aménagement des combles [voir stratégie de densification S05] est une solution dans les bâtiments d'avant-guerre ou d'entre-deux-guerres avec des toitures mansardées ou avec une pente offrant une hauteur suffisante. Elle se heurte cependant à deux difficultés, l'occupation des combles par des espaces de rangement à replacer et les nombreuses installations, gaines techniques présentes dans les combles.

La stratégie de surélévation [voir stratégie de densification S06] est favorable dans la majorité des bâtiments. Comme l'aménagement des combles, elle permet d'augmenter le nombre de logements dans des bâtiments datant d'avant-guerre ou entre-deux-guerres, situés dans des contextes bâtis déjà denses. La surélévation propose une «vraie» densification par l'augmentation d'habitants par m² au sol alors que l'ajout d'une couche [stratégie de densification S02] ou dans certains cas l'agrandissement du volume [stratégie de densification S03] offre simplement plus de m² par habitant. Elle est moins favorable dans les bâtiments mansardés d'avant-guerre car elle modifie fortement les caractéristiques architecturales du bâtiment. Elle trouve parfois des limites de réalisation dans la hauteur des bâtiments existants [voir chapitre 03], une surélévation peut faire passer le bâtiment dans la catégorie de bâtiment de grande hauteur, avec des contraintes en termes de protection incendie disproportionnées, voire irréalisables. L'organisation de la distribution des appartements de l'attique existant peut être aussi une raison de ne pas surélever un bâtiment. Les appartements en duplex situés aux derniers niveaux compliquent la prolongation de la cage d'escaliers et d'ascenseur pour l'accès à une surélévation [voir étude de cas 05].

ÉTUDES DE CAS ÉCARTÉES

Quatre cas d'études ont été écartés, soit parce qu'une solution a déjà été développée dans eREN, soit parce que la solution de densification aurait été similaire à celle développée sur un autre cas d'étude, soit parce qu'aucune stratégie n'est techniquement ou architecturalement envisageable.



Étude de cas 02



Étude de cas 04



Étude de cas 08



Étude de cas 10

Étude de cas 02: l'aménagement des combles (S05) est une stratégie intéressante dans les bâtiments d'avant-guerre avec de grandes toitures mansardées. Dans ce cas d'étude spécifique, l'espace des combles est déjà aménagé et la surface utile des surcombles ne permet pas l'aménagement de nouveaux logements. Le remplacement des balcons (S01) n'est pas adapté au caractère architectural du bâtiment et l'agrandissement du volume est peu favorable de par les distances réduites aux bâtiments voisins.

La démolition de la grande toiture mansardée pour une nouvelle surélévation (S06) permet une densification de ces immeubles avec un impact jugé inacceptable sur les caractéristiques architecturales du bâtiment.



Étude de cas 01



Stratégies 03 et 06

- 9 Loi sur les constructions et installations diverses (LCI), Genève, articles 89 à 93.

Étude de cas 04: l'étude de cas n'a pas été retenue, les stratégies sont similaires au cas d'étude 06 développé.

Étude de cas 08: les stratégies possibles sont similaires au cas d'étude 09 développé. La seule autre stratégie envisageable, celle de la surélévation (S06), n'a finalement pas été retenue car elle implique que le bâtiment dépasserait 30 mètres de hauteur ce qui obligerait à une mise en conformité aux directives de protection incendie jugée irréaliste, constructivement et financièrement.

Étude de cas 10: la stratégie de fermeture des balcons (S02) avait déjà été étudiée dans le cadre du projet eREN et les autres stratégies ont été développées dans d'autres cas d'études.

ÉTUDES DE CAS ET STRATÉGIES RETENUES

Étude de cas 01: situé au centre-ville de Genève, ce bâtiment bourgeois contigu de cinq niveaux sur rez-de-chaussée plus combles, construit en 1901, est au bénéfice d'une protection patrimoniale (ensembles urbains du 19^e et du début du 20^e siècle)⁹. L'enveloppe, construite en maçonnerie à boulets, richement décorée et doublée par un placage de pierre naturelle sur rue et crépie sur cour est en bon état. La toiture, rénovée il y a une quinzaine d'années ne répond pas aux exigences énergétiques actuelles, tout comme les fenêtres (remplacées par des fenêtres à l'identique avec verres isolants durant le cours de l'étude) qui n'offrent pas non plus une isolation phonique suffisante. L'immeuble offre des appartements de taille variée avec des chambres généralement généreuses (de 14 à 16 m²), des espaces de vie qui correspondent aux besoins des habitants qui y vivent (de 14 à 20 m²). Cependant, les balcons à cause de leur profondeur (70 cm) et de leur orientation (à l'est en lien avec une rue très fréquentée) sont peu utilisés. Plusieurs entraves à l'accessibilité aux PMR existent (marches dans le hall, taille de l'ascenseur, etc.).

La stratégie retenue est une combinaison des stratégies d'agrandissement des pièces (S03) et de surélévation (S06). L'agrandissement des pièces côté cour permet de résoudre les questions thermiques et de compenser le fait que seules les fenêtres sont remplacées (à l'identique) côté rue pour des questions patrimoniales. La solution constructive retenue (façade à ouvrant en accordéon) permet d'ouvrir intégralement ces pièces en été et de les utiliser à la belle saison comme espace semi-extérieur, donnant au calme sur la cour et bénéficiant d'une bonne orientation. Cette intervention ne peut être considérée comme une densification à proprement parler, car elle ne permet pas de loger plus de personnes dans les appartements. La surélévation, limitée à deux niveaux pour des raisons structurelles et de normes incendie, est conçue de telle manière qu'elle soit invisible depuis la rue. Elle offre de nouvelles surfaces de logement, dont deux appartements en attique qui bénéficient de terrasses généreuses. La surélévation, très bien isolée, permet de résoudre l'insuffisance thermique de la toiture actuelle. Ce scénario ne respecte pas la réglementation urbanistique.



Étude de cas 03



Stratégie 06

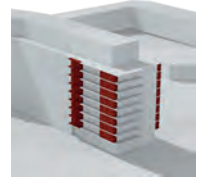
Étude de cas 03: situé au centre-ville de Lausanne, cet immeuble de six niveaux sur rez-de-chaussée, mitoyen au sud-est, a été bâti en 1939 et ne respecte pas la réglementation actuelle en matière de distance aux limites. Il est donc au bénéfice d'un droit acquis qu'il est intéressant de maintenir. Il offre des appartements relativement spacieux, du 1.5 pièce de 55 m² au 3.5 pièces de 104 m². L'enveloppe, non isolée, est en partie dégradée et mérite au minimum un ravalement. Certaines des portes palières n'ont pas encore été modifiées afin de répondre aux exigences de compartimentage coupe-feu. Les quelques marches à l'entrée de l'immeuble entravent l'accès aux personnes à mobilité réduite.

Parmi les stratégies possibles (S02 et S06), celle qui semble offrir le plus de potentiel est la reconstruction de l'attique actuelle et de la surélévation d'un niveau. En matière structurelle, les faiblesses du bâtiment ne permettraient pas d'aller au-delà, bien qu'un renforcement parasismique de la structure soit prévu dans le scénario. Comme dans l'étude de cas 01 elle améliore thermiquement la toiture et les terrasses de l'attique et permet, par effet de compensation, d'abandonner l'isolation intérieure de certaines parties indispensable dans le scénario eREN. Ce scénario ne respecte pas la réglementation urbanistique.

Étude de cas 05: situé en périphérie de Genève, dans une Cité nouvelle, ce bâtiment de neuf niveaux sur rez-de-chaussée intégré à une longue barre a été bâti en 1970. Typique de cette période, il offre des logements généralement destinés à des familles, de 4 pièces de 85 à 90 m² et des 5 pièces de 100 m² (y compris cuisine) avec des espaces de vie souvent peu adaptés aux usages actuels (<20 m²). La cuisine est séparée du séjour, et aucun espace n'est véritablement prévu pour prendre les repas. Les balcons en bande entourent tout le bâtiment, indépendamment des orientations et des vues ce qui génère des situations d'abandon (quand le balcon n'est pas dans une orientation favorable). L'enveloppe du bâtiment est en bon état, mais ne répond pas aux exigences énergétiques actuelles. La toiture et les fenêtres ont été rinnovées récemment. Les balcons en bande représentent des ponts thermiques importants. Le bâtiment répond globalement aux exigences en matière de protection incendie et d'accessibilité pour les personnes à mobilité réduite.



Étude de cas 05



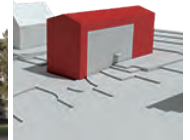
Stratégie 02

La stratégie retenue est celle de l'agrandissement des pièces (S02), les balcons peu utilisés étant partiellement convertis en espaces chauffés, dévolus à un nouvel espace de jour regroupant salon, salle à manger et cuisine ouverte. On ne peut pas à proprement parler de densification au sens strict. L'intérêt de ce scénario est donc de combler le déficit de mètres carrés par rapport aux standards actuels et de permettre d'augmenter l'état locatif, sans travaux touchant à la structure du bâtiment. Ce scénario respecte la réglementation urbanistique.

Étude de cas 06: situé dans une zone d'immeubles locatifs en périphérie d'un bourg du canton de Vaud, ce bâtiment de trois niveaux sur rez-de-chaussée sans caractère a été construit en 1972. Il offre des appartements variés; du 2 pièces de 48 m² au 4.5 pièces de 93 m², avec de petites chambres (9 à 13 m²) et de petits espaces de vie (15 à 19 m²). L'enveloppe du bâtiment est légèrement dégradée et ne répond plus aux exigences énergétiques actuelles. Les balcons et la couverture de la toiture sont détériorés et nécessitent des travaux. Des ponts thermiques importants se trouvent au niveau des dalles et des balcons. L'escalier principal, d'une largeur de 100 cm ne répond pas aux exigences actuelles pour les voies d'évacuation. Certaines des portes palières n'ont pas encore été modifiées afin de répondre aux exigences de compartimentage coupe-feu.



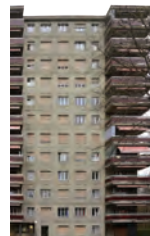
Étude de cas 06



Stratégies 03 et 06

La stratégie retenue est une combinaison d'agrandissement par ajout de nouvelles pièces et de balcons généreux (S03) et d'une surélévation (S06). Ce scénario offre une véritable densification avec une augmentation conséquente de la surface locative. Cette variante contrevient à la réglementation de gabarit au niveau de la surélévation.

Étude de cas 07: situé dans une zone résidentielle à forte densité en ville de Fribourg, ce bâtiment de grande hauteur (onze étages sur rez-de-chaussée plus quatre étages semi-enterrés) a été construit en 1975. La réglementation urbanistique actuelle ne permettrait pas un tel gabarit. L'immeuble est donc au bénéfice de droits acquis importants. Il offre des appartements variés; du studio de 24 m² au 4 pièces de 89 m², avec des chambres (de 10 à 16 m²) et des espaces de vie (de 18 à 21 m²) adaptés aux usages actuels. L'enveloppe du bâtiment est en relativement bon état, mais ne répond plus aux exigences énergétiques actuelles. La toiture (partiellement rinnovée) et les fenêtres (partiellement changées) nécessiteraient un assainissement. Des ponts thermiques conséquents se trouvent au niveau des balcons et des dalles. Certaines des portes palières n'ont pas encore été modifiées afin de répondre aux exigences de compartimentage coupe-feu.



Étude de cas 07



Stratégie 02

La surélévation a été écartée pour des questions réglementaires (le bâtiment dépasse déjà la hauteur totale réglementaire de plus de 12 mètres) et techniques (ascenseurs, gaines), tout comme l'inclusion des balcons, bien orientés, dans la surface chauffée qui aurait représentée une perte d'usage important. Pour résoudre les ponts thermiques conséquents au niveau des dalles, le scénario retenu prévoit le sciage des balcons existants, l'assainissement des façades et la mise en œuvre d'une nouvelle couche d'espaces non chauffés (S02) contre les façades sud-ouest et sud-est. Le scénario est non conforme par rapport à la réglementation urbanistique.



Étude de cas 09



Stratégie 06

Étude de cas 09: situé dans un quartier très dense du centre-ville de Genève, ce bâtiment en ordre contigu de sept étages sur rez-de-chaussée date de 1980. Il ne propose qu'un type d'appartement: des 4 pièces (y compris cuisine) d'environ 90 m². Les chambres (12 à 14 m²) ainsi que les espaces de jour (30 m²) répondent aux usages actuels. L'enveloppe du bâtiment ne répond plus aux exigences de confort actuelles: isolation thermique et acoustiques en particulier. La toiture du bâtiment nécessite d'être rénovée. Le bâtiment répond globalement aux exigences en matière de protection incendie (gabarits, voie de fuite) et d'accessibilité pour les personnes à mobilité réduite.

La stratégie la plus cohérente dans ce cas est celle de la surélévation (S06), en remplaçant l'attique actuel et en ajoutant un nouveau niveau. Il s'agit d'une réelle densification, avec création de deux nouveaux appartements. L'intervention permet également de résoudre les problèmes thermiques et de vétusté de la toiture et des terrasses existantes. Le scénario est non conforme par rapport à la réglementation urbanistique.

CADRE LÉGAL

Le respect du cadre légal a été vérifié pour les points suivants:

- La réglementation urbanistique (par exemple: limite construction, gabarit ou indice d'utilisation et d'occupation)
- Les prescriptions de protection incendie, distances de sécurité entre bâtiments, géométrie (hauteur) du bâtiment (normes et directives AEAI)
- La protection patrimoniale (gabarit, éléments architecturaux ou constructifs protégés)

	 agrandir des pièces surélever l'immeuble Etude de cas 01 		 surélever l'immeuble Etude de cas 03 		 agrandir des pièces Etude de cas 05 		 ajouter des pièces surélever d'un étage Etude de cas 06 		 ajouter une «couche» non-chauffée Etude de cas 07 		 surélever l'immeuble Etude de cas 09 	
	état existant	état après intervention	état existant	état après intervention	état existant	état après intervention	état existant	état après intervention	état existant	état après intervention	état existant	état après intervention
Respecter la réglementation urbanistique	X	X	✓	X	✓	✓	X	X	X	X	X	X
Respecter les distances de de sécurité (incendie)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Maintenir la catégorie du bâtiment (incendie)		✓		✓		✓		✓		✓		✓

Le respect de la réglementation urbanistique a été vérifié bien qu'il n'ait pas été retenu comme critère éliminatoire. La révision de la loi fédérale sur l'aménagement du territoire (LAT) du 1^{er} mai 2014 impose une densification du tissu bâti pour limiter la consommation de terrain et pour lutter contre le mitage du territoire. Mise en lien avec les révisions de plans partiels d'affectation (PPA), des plans d'aménagement local (PAL) et des plans de quartiers, la nouvelle LAT ouvre des opportunités pour les assainissements avec extension et/ou surélévation. Le projet part du principe que les règlements peuvent être sujets à évolution pour aller dans le sens de la LAT. Selon les cas, il est aussi possible d'obtenir des dérogations.

A l'exception du scénario de l'étude de cas 05, les cinq autres scénarios se heurtent au cadre légal urbanistique soit au niveau des distances de construction aux limites de propriété, du gabarit, de l'indice d'occupation ou d'utilisation. On relève que deux scénarios [études de cas 03, 06] ne respectent pas le gabarit, un bâtiment ne respecte pas la distance aux limites de construction et la hauteur totale maximale [étude de cas 07] à l'état existant et après son scénario de densification.

La protection patrimoniale peut être une contrainte importante lors de projet de densification. L'étude a volontairement écarté les bâtiments protégés. Seul un bâtiment [étude de cas 01] bénéficie d'une protection patrimoniale car il fait partie d'un ensemble du XIX^e siècle et du début du XX^e siècle. Une intervention sur ce bâtiment nécessiterait l'accord des instances concernées.

Fig. 04 Tableau récapitulatif du respect des exigences légales considérées dans le projet.

✓ respecté
X pas respecté (nécessite une dérogation ou la mise en œuvre de mesures supplémentaires)

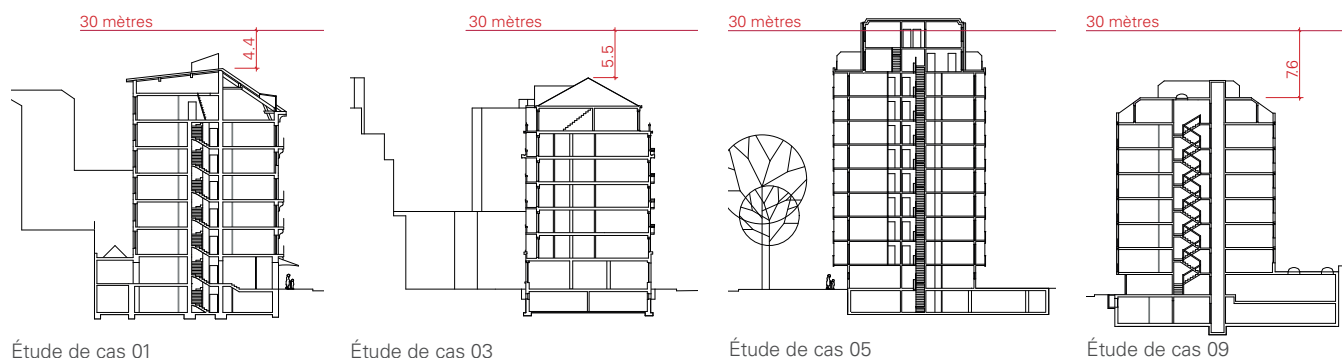


Fig. 05 Coupes existantes avec gabarit des 30 mètres pour les études de cas 01, 03, 05, 09. Les bâtiments sont parfois proches de la catégorie des bâtiments élevés, ce qui restreint les possibilités de surélévation à un ou deux étages. L'étude de cas 05 dépasse même les 30 mètres avec un appartement en duplex au niveau de l'attique.

Les exigences au niveau de la protection incendie (distance de sécurité entre bâtiments, catégorie du bâtiment) peuvent fortement réduire le potentiel d'extension du volume.

Les distances de sécurité doivent être fixées de manière à éviter la mise danger réciproque des bâtiments et autres ouvrages par propagation d'un incendie¹⁰.

Une surélévation peut changer la catégorie du bâtiment (par exemple d'un bâtiment de moyenne hauteur à la catégorie de bâtiment élevé¹¹ au-dessus), avec des exigences largement accrues pour les voies d'évacuation, les matériaux, etc. souvent impossibles à satisfaire ou disproportionnées par rapport au projet.

10 Norme de protection incendie AEAI 2015, art. 28 - 30, distances de sécurité.

Directives de protection incendie, distances de sécurité incendie, système porteurs et compartiments coupe-feu / 15-15 fr.

11 Norme de protection incendie AEAI 2015, art. 13, définition, géométrie des bâtiments.

- bâtiments de faible hauteur:

hauteur totale de 11 mètres au maximum.

- bâtiments de moyenne hauteur:

hauteur totale de 30 mètres au maximum.

- bâtiments élevés: hauteur totale de plus 30 mètres.

ARCHITECTURE ET USAGE

CARACTÈRE ARCHITECTURAL

Du point de vue du caractère architectural, les interventions ont été définies selon trois principes établis dans le projet eREN préserver, reconstruire les caractéristiques du bâtiment ou modifier son «image». Aucune concession sur la qualité architecturale n'a été envisagée, c'est pourquoi aucun scénario n'induit une perte de caractère nettement supérieure aux scénarios d'eREN.

	Etude de cas 01 eREN eREN2				Etude de cas 03		Etude de cas 05		Etude de cas 06		Etude de cas 07		Etude de cas 09	
	«COUR»	«RUE»	«COUR»	«RUE»	eREN	eREN2	eREN	eREN2	eREN	eREN2	eREN	eREN2	eREN	eREN2
Préserver les caractéristiques		✓		✓	✓	✓					✓			
Reconstruire les caractéristiques													✓	✓
Ajouter des éléments ou modifier l'image	✓		✓				✓	✓	✓	✓		✓		

Fig. 06 Tableau récapitulatif de la stratégie architecturale choisie (étude de cas 01, stratégie différente pour les façades «rue» et «cour»).

✓ Objectif

USAGE

Le projet a pour objectif de densifier et/ou offrir des surfaces supplémentaires et de qualité. Pour y répondre, quatre scénarios [études de cas 01, 03, 06 et 09] proposent des appartements supplémentaires ou plus de pièces permettant de loger des habitants supplémentaires. Un scénario [étude de cas 05] propose une augmentation des surfaces chauffées sans augmenter le nombre de logements et un scénario [étude de cas 07] agrandit les surfaces utiles extérieures des logements. Parfois la quantité de surfaces ajoutées n'est pas importante, mais des cas d'étude traitent uniquement un segment d'une longue barre identique sur laquelle le scénario pourrait être reproduit à plus grande échelle. L'objectif de densification réelle (possibilité de loger plus de personnes sur la même surface au sol) est atteint dans 4 cas sur 6.

Fig. 07 Tableau récapitulatif des objectifs en termes d'usage.

✓ Objectif
– pas un objectif
X objectif pas atteint

	agrandir des pièces surélever l'immeuble Etude de cas 01	surélever l'immeuble Etude de cas 03	agrandir des pièces Etude de cas 05	ajouter des pièces surélever d'un étage Etude de cas 06	ajouter une «couche» non-chauffée Etude de cas 07	surélever l'immeuble Etude de cas 09
Offrir des espaces extérieurs d'une grandeur adaptée	–	–	✓	✓	✓	–
Offrir des pièces d'une grandeur adaptée	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Offrir des pièces supplémentaires	–	–	–	✓	–	✓
Augmenter le nombre de logements	✓	X	–	✓	–	✓
Aménager les combles	–	–	–	–	–	–
Améliorer et/ou diversifier la typologie des logements	✓	✓	✓	✓	✓	✓

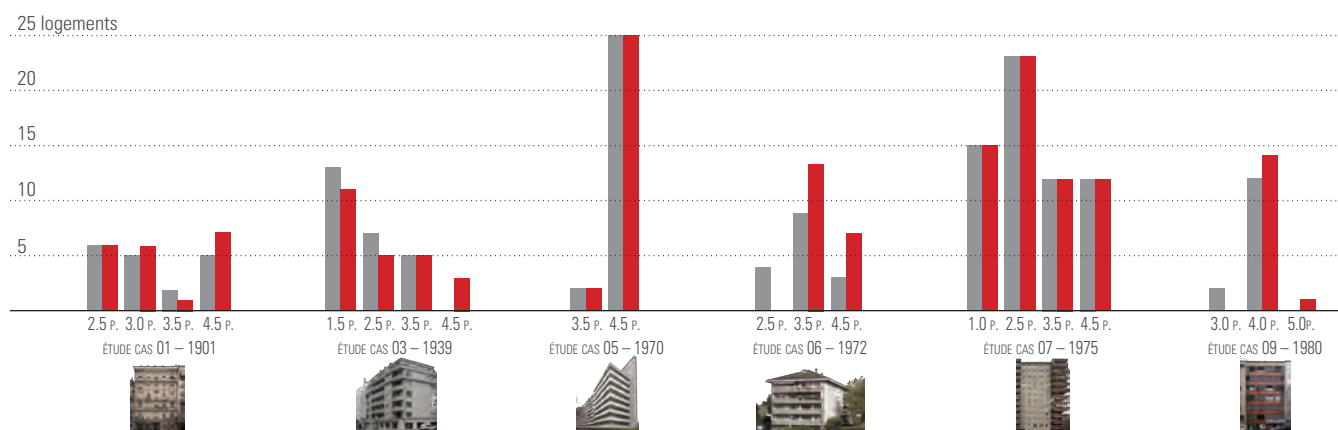


Fig. 08 Tableau de la diversité des logements.

- nombre de logements – état existant
- nombre de logement – scénarios eREN2

DIVERSITÉ DES LOGEMENTS

Une typologie variée dans la grandeur des logements favorise la mixité sociale. Un agrandissement du volume (S03 ou S04) ou une surélévation (S06) permet de diversifier les logements à l'échelle d'un immeuble. Quatre bâtiments [études de cas 01, 03, 06 et 07] possèdent une diversité des logements existants, alors que deux bâtiments [études de cas 05 et 09] n'offrent qu'une majorité de logements de 4 pièces [voir graphique figure 08]. Un scénario de densification [étude de cas 03] permet d'adapter la diversité des logements en offrant de nouveaux appartements de 4.5 pièces en attique, le bâtiment actuel étant composé de plus petits logements. L'agrandissement du volume avec des pièces supplémentaires



Fig. 09 Graphique des surfaces utiles des pièces de l'état existant et des scénarios par rapport aux exigences de l'ordonnance (843.142.3, éd 2013).

- espaces individuels
- espaces communs
- espaces cuisine
- espaces sanitaires
- | limite de surface par espace selon l'ordonnance
- | limite de surface totale selon l'ordonnance

(S03) [études de cas 06] réduit le nombre de petits appartements au profit d'appartements plus généreux. La densification est l'occasion de mettre en adéquation la typologie des logements avec le profil des locataires et le besoin du marché. Si les travaux peuvent être réalisés en site occupé, les nouveaux appartements ne correspondront peut-être plus aux besoins des locataires présents.

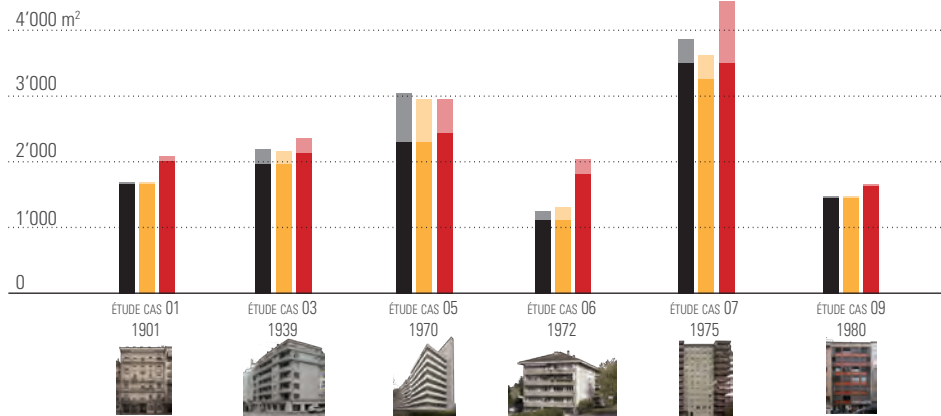


Fig. 10 Graphique comparatif des surfaces utiles de plancher (SUP) et surface externe utile (SEU) en m².

- SUP – état existant
- SEU – état existant
- SUP – scénario eREN
- SEU – scénario eREN
- SUP – scénario eREN2
- SEU – scénario eREN2

SURFACE DES LOGEMENTS ET DES ESPACES EXTÉRIEURS

Une rénovation énergétique combinée avec une densification implique en général des travaux lourds, ce qui peut être l'occasion d'adapter la surface des pièces et les sanitaires existants aux standards actuels (bien que cette stratégie aille dans le sens opposé à une plus grande sobriété en surface habitable par personne) et d'offrir des espaces extérieurs (balcons, terrasses) plus vastes, en particulier pour les immeubles des années 60 – 80, qui proposent en général des pièces proches des surfaces minimales¹² admissibles [voir figure 09]. Ces mesures peuvent contribuer à augmenter l'attractivité des logements rénovés ce qui, dans un marché de l'immobilier équilibré, serait susceptible de motiver les propriétaires à rénover leurs biens.

Les possibilités d'augmenter la surface utile de plancher ou la surface externe utile varient fortement selon le contexte, la typologie existante et la stratégie choisie. Les bâtiments isolés, construits dans les années 60–70, implantés en périphérie des centres de ville sur des parcelles relativement grandes permettent la plus grande augmentation de surface utile [voir graphique figure 10]. Contrairement aux scénarios d'eREN qui avaient plutôt tendance à diminuer les surfaces utiles internes ou externes, la majorité des scénarios eREN2 proposent une augmentation de ces surfaces.

12 Les surfaces minimales ont été définies selon l'ordonnance concernant la surface nette habitable, le nombre et la dimension des pièces (programme), l'aménagement de la cuisine et l'équipement sanitaire (ordonnance 843.142.3 éd. 2013). Les surfaces des espaces individuels, communs de la cuisine, des sanitaires et locaux de rangements sont définies selon nombre de personnes par ménage (PPM).

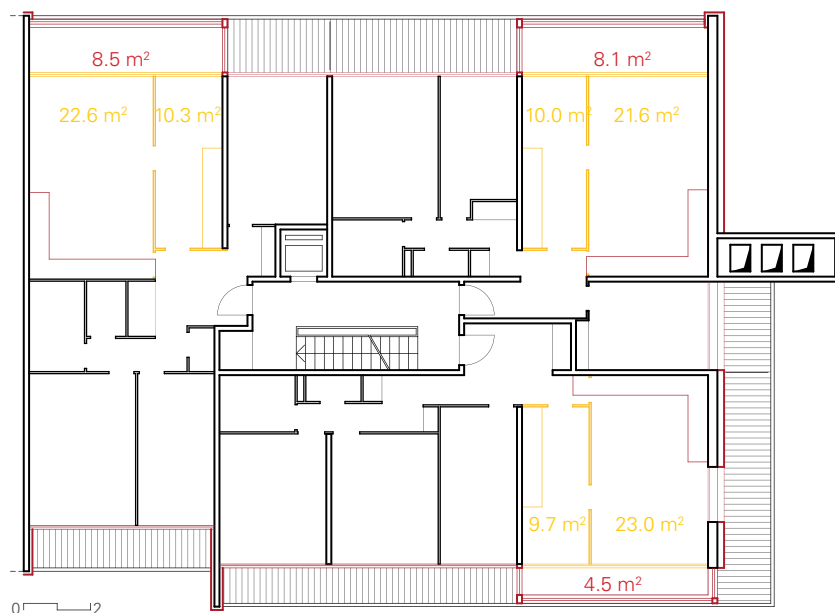


Fig. 11 Plan l'étude de cas 05. L'extension propose le changement de statut d'une partie des espaces de balcons et permet une adaptation de la taille des pièces.

Un scénario [étude de cas 05] ne propose pas de surface supplémentaire, mais un changement de statut d'une partie des espaces extérieurs en espaces habitables chauffés. Les surfaces des espaces de vie, des chambres et sanitaires sont en dessous du minimum. La stratégie permet d'adapter la typologie et la grandeur des pièces à un standard actuel en utilisant une partie de la surface sous-exploitée des balcons (de 4.5 à 8.5 m² de surface utile (SUP) par appartement). L'extension maintient l'élément caractéristique visuel des longs garde-corps de balcons et propose une nouvelle lecture des pleins et des vides, avec des espaces extérieurs plus adaptés qui s'apparentent à une loggia [voir plan figure 10].

Pour autant qu'elle ne soit pas colonisée par un usage annuel très néfaste sur le plan énergétique, l'ajout d'une «couche» non chauffée peut s'avérer particulièrement intéressant sur les bâtiments des années 60–70 avec un porteur extérieur et des ponts thermiques au niveau des têtes de dalle. Il permet d'offrir de nouveaux espaces externes utiles (SEU) ou d'adapter la grandeur des espaces existants à un usage actuel. Un scénario propose cette intervention [étude de cas 07]. Il modernise l'aspect architectural du bâtiment en proposant une «nouvelle peau» métallique légère et offre des espaces «tampons» utilisables une grande partie de l'année dans la nouvelle couche [voir plan figure 12].

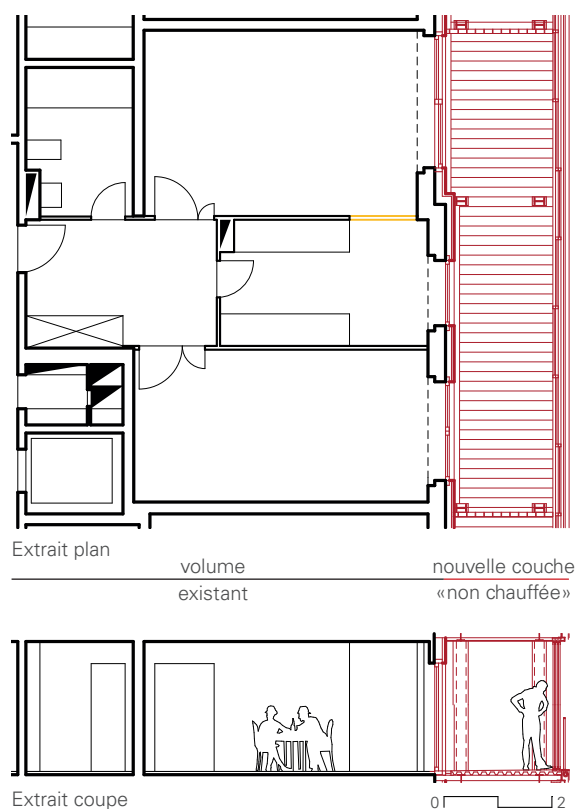


Fig. 12 Plan et coupe de l'étude de cas 07. L'ajout de «jardins d'hiver» en extension du volume offre plus de confort, de vue et de relation à l'environnement extérieur. La couche règle les ponts thermiques des têtes de dalle. Ils permettent de créer une «zone tampon» et améliore les déperditions thermiques de l'enveloppe à condition que leur usage comme espace non-chauffée soit garanti.

Dans les typologies des années 60–70, une extension du volume peut permettre d'améliorer la surface des chambres ou séjours. Les surfaces des chambres (de 9.3 m² et 14.5 m²) et des salles de bain (de 3.6 m² à 4.2 m²) du bâtiment de l'étude de cas 06 sont inférieures au standard minimal actuel, quant aux espaces de séjour, ils sont minimaux. L'extension du volume a permis d'agrandir 4 appartements de 3 pièces en 4.5 pièces et quatre appartements de 2 pièces en 3.5 pièces. Elle propose des appartements avec des surfaces de chambres adaptées, les anciens séjours de 19 m² deviennent la chambre principale, les chambres secondaires de 9.5 m² et 14 m² sont maintenues. Les anciennes cuisines deviennent un deuxième espace sanitaire pour les logements de 4.5 pièces [voir plan figure 13]. Des loggias plus généreuses, privatives et confortables, remplacent les balcons en saillie. Le scénario requalifie le caractère architectural en apportant une nouvelle volumétrie et image au bâtiment.

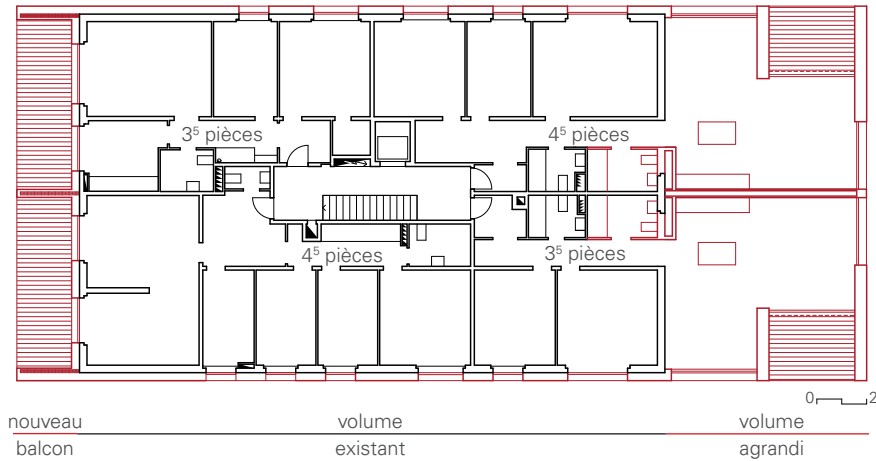


Fig. 13 Plan l'étude de cas 06. L'extension du volume permet une adaptation de la surface d'une partie des pièces.

STANDARD D'AMÉNAGEMENT ET LUMIÈRE NATURELLE

Selon la stratégie de densification et l'état de vétusté des appartements, le standard d'aménagement (réfection de protection solaire, de revêtement de sol, de cuisine ou de salle de bain, maintien des espaces de rangement annexes aux logements, etc.) peut être maintenu ou amélioré. Les stratégies de densification ne proposent pas d'avantage par rapport aux scénarios d'assainissement d'eREN qui proposent également des travaux de rafraîchissement de peinture, le remplacement de stores ou de cuisines selon le type d'intervention. Tout comme dans les stratégies d'assainissement d'eREN entraînant une réduction des vides de lumières ou une augmentation de la profondeur des embrasures, les stratégies de densification ont tendance à péjorer l'apport de lumière naturelle avec une profondeur des pièces plus grande ou des dalles provoquant une ombre plus importante. Dans tous les cas, il s'agit de trouver des moyens de minimiser ces pertes ou les compenser.

Fig. 14 Tableau des améliorations de standard d'aménagements et lumière naturelle.

- ✓ bon état / suffisant
- (✓) bon état / suffisant (pas lié à la stratégie de densification)
- pas présent
- X vétuste / insuffisant

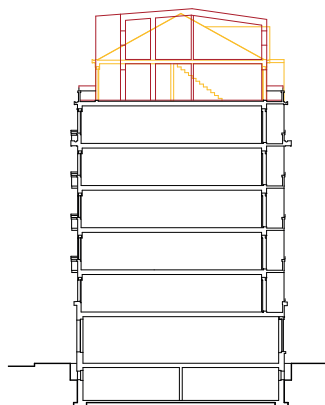
	 agrandir des pièces surélever l'immeuble Etude de cas 01			 surélever l'immeuble Etude de cas 03			 agrandir des pièces Etude de cas 05			 ajouter des pièces surélever d'un étage Etude de cas 06			 ajouter une «couche» non-chauffée Etude de cas 07			 surélever l'immeuble Etude de cas 09		
	existant	eREN	eREN2	existant	eREN	eREN2	existant	eREN	eREN2	existant	eREN	eREN2	existant	eREN	eREN2	existant	eREN	eREN2
Maintenir / augmenter l'apport de lumière naturelle	✓	✓–	✓–	✓	✓–	✓	✓	✓–	✓	✓	✓–	✓–	✓	✓–	✓	✓	✓	✓
Maintenir les espaces de rangements (greniers, caves)	✓	✓	✓	✓	✓–	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Maintenir les espaces ext. et/ou places de parc	–	–	–	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓	–	–	–
Protections solaires	X	✓	✓	X	✓	(✓)	X	✓	✓	X	✓	✓	X	✓	✓	X	✓	(✓)
Aménagements intérieurs (salle de bain, cuisine, etc.)	X	X	X	✓	✓	✓	X	X	✓	X	X	✓	X	✓	X	✓	✓	✓
Revêtements intérieurs (sols, peinture, etc.)	X	X	✓	✓	✓	✓	X	X	✓	X	X	✓	X	X	(✓)	✓	✓	✓

L'ajout d'une couche (S02) [étude de cas 07] ou l'agrandissement des espaces extérieurs (S01) [étude de cas 06] péjorent généralement l'apport de lumière, mais permettent d'intégrer un nouvel élément de protection solaire ou un nouveau garde-corps par exemple [voir coupe figure 12]. La diminution de l'apport de lumière peut être compensée par l'agrandissement des ouvertures [voir étude de cas 07]. En conséquence, les travaux intérieurs de rhabillage de peinture sont plus importants.

L'agrandissement du volume (S03 et S04) par des espaces ou des pièces supplémentaires [études de cas 01, 05 et 06] vise généralement à améliorer le standard d'aménagement des logements. Il implique une modification, une réorganisation des espaces et ainsi une intervention sur des éléments d'aménagement parfois désuets comme les cuisines de l'étude de cas 05 [voir plan figure 11]. Les aspects négatifs sont parfois la diminution de la lumière naturelle [étude de cas 01].

L'aménagement des combles (S05) ou les surélévations (S06) n'influencent généralement pas ou faiblement le standard d'aménagement des appartements existants [études de cas 03 et 09]. Elles ne diminuent pas l'apport de lumière, mais elles réduisent parfois les espaces de rangement tels que les galetas [voir étude de cas 03].

Fig. 15 Coupe et galetas de l'étude de cas 03. La surélévation du bâtiment avec des duplex fait disparaître ces espaces de rangements. Les locataires conservent encore une cave au sous-sol.



IMPACT POUR LES LOCATAIRES

Lors de transformations ou d'assainissements de bâtiments occupés, l'enjeu consiste fréquemment à devoir réaliser les travaux en présence de locataires et avec un minimum de nuisances. Toutes les interventions engendrent des nuisances pour les locataires, cependant, on peut distinguer trois catégories dans les stratégies proposées. Les interventions qui nécessitent le départ ou le relogement de tout ou partie des locataires, celles qui peuvent être effectuées en présence des occupants moyennant la mise en place de structures adéquates (par exemple des sanitaires provisoires pendant la réfection des salles de bains et des colonnes de chute) mais qui ont un important impact sur le quotidien des locataires et celles provoquant de légères nuisances, qui ne bouleversent pas le quotidien des occupants (remplacement d'une fenêtre avec cadre de rénovation par exemple).

Les trois scénarios de surélévation [études de cas 01, 03 et 09] nécessitent le relogement des locataires de deux à quatre appartements (attiques ou combles), mais permettent le maintien de la majorité des locataires. La modification de l'organisation des espaces [étude de cas 05] nécessite un relogement provisoire des locataires (possible avec une rotation des locataires dans un ou deux appartements inoccupés). La surélévation et l'agrandissement du volume [étude de cas 06], tout comme l'ajout d'une couche [étude de cas 07] ne nécessitent pas le déplacement des locataires. Pour la réfection des espaces existants, une planification rigoureuse des travaux réduira les nuisances pour les locataires. Minimiser l'impact sur les occupants et soigner les relations avec les locataires est un défi et cet aspect peut s'avérer déterminant quant au choix du degré d'intervention (légère, moyenne, lourde).

EFFICIENCE ÉNERGÉTIQUE

Les besoins de chauffage existants de chacun des six cas d'étude ont été repris de l'étude eREN, qui se base sur des bilans calculés selon la norme SIA 380/1 (éd. 2009), comparés pour validation avec les consommations réelles (factures d'énergie, IDC, etc. pour plus de précision, voir étude eREN).

À la date de la présente étude, la révision 2016 de la norme SIA 380/1 est en vigueur, bien que pas encore strictement appliquée. Cependant, les besoins de chaleur pour le chauffage (Q_h) des surélévations/agrandissements et des parties existantes rénovées ont également été calculés selon la version 2009 de la norme afin de pouvoir être comparés avec les scénarios de l'étude eREN.

Pour chaque immeuble un bilan thermique a été calculé pour la partie rénovée et un autre pour l'extension. D'un point de vue formel la compensation par un bilan pondéré entre les parties neuve et rénovée n'est pas admise dans tous les cantons.

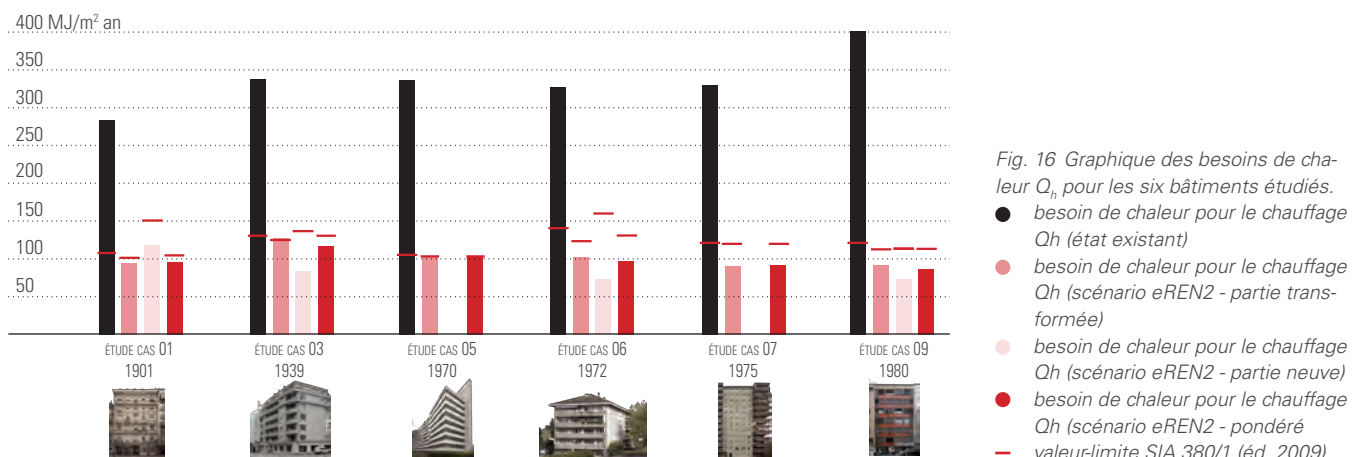
À partir de l'instant où l'on intervient directement sur une enveloppe existante les valeurs limite pour la rénovation s'y appliquent et les valeurs limites du neuf s'appliquent aux parties neuves. La norme SIA 380/1 précise aux art. 1.3 (édition 2009) et 1.3.1.2 (édition 2016): «sont également considérées comme constructions nouvelles les adjonctions et les surélévations de bâtiments existants...».

Certains cantons (Fribourg par exemple) ne sont pas totalement fermés à une compensation dans certaines limites et selon les circonstances, d'autres (Genève par exemple) sont plus catégoriques et n'admettent en principe aucune compensation qui permettrait d'atteindre une valeur limite pondérée, en étant très performant pour la partie neuve et en se permettant de ne pas atteindre 100% des valeurs requises en performance globale pour la partie rénovée.

Afin de prendre en compte cette réalité et de produire des scénarios respectant les pratiques les plus restrictives, l'atteinte des valeurs limites (SIA 380/1 – 2009) respectives tant pour les parties neuves que pour les parties rénovées a été fixée comme objectif. Une consommation pondérée en fonction du nombre de mètres carrés de chaque partie a été calculée à fins de comparaisons.

Dans l'étude de cas 05, l'extension de la SRE est très faible. Il n'a donc pas été calculé de bilan global pour la partie neuve. Les valeurs ponctuelles limites ont été respectées pour les éléments de construction pour cette partie. Un bilan global neuf plus rénovation sert aux fins de comparaisons avec le scénario eREN.

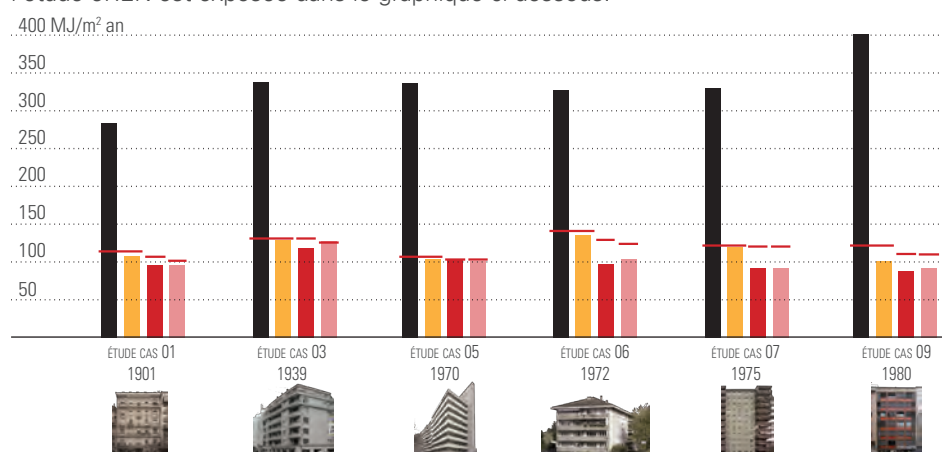
Les objectifs globaux fixés par la norme SIA 380/1 (éd. 2009) ont été atteints pour chaque cas d'étude, à l'exception des parties rénovées de l'étude de cas 03, où subsiste un écart de 3 MJ/m². Compte tenu des difficultés présentées par ce cas d'étude, il a été considéré que cet écart était négligeable à ce «stade» de l'étude du projet.



Paradoxalement, dans tous les cas impliquant une extension [études de cas 01, 03, 06 et 09] les valeurs limites pour les parties neuves sont moins contraignantes que pour les parties rénovées. Cela s'explique par des facteurs d'enveloppe généralement moins favorables pour les surélévations/extensions où le nombre de m² de surface de plancher relativement au nombre de m² d'enveloppe est moindre que pour les parties existantes.

Fig. 17 Graphique des besoins de chaleur Q_h pour les six bâtiments étudiés.

- besoin de chaleur pour le chauffage Q_h (état existant)
- besoin de chaleur pour le chauffage Q_h (scénario eREN)
- besoin de chaleur pour le chauffage Q_h (scénario eREN2 - pondéré)
- besoin de chaleur pour le chauffage Q_h (scénario eREN2 - partie transformée)
- valeur limite SIA 380/1 (éd. 2009)



On peut constater que pour l'ensemble des cas la densification a permis de réduire le besoin de chaleur pour le chauffage par mètre carré non seulement en valeur pondérée (neuf + transformation) mais également pour la partie transformée seule par rapport aux scénarios eREN d'assainissement simple. Ces économies sont cependant très inférieures à celles qui résultent d'un assainissement de l'état existant (avec extension ou non) qui se chiffrent parfois à plusieurs centaines de MJ/m²an.

Un examen plus détaillé permet de constater que les études de cas 06 et 07 sont celles qui présentent le gain énergétique pondéré le plus important lors de la densification par rapport aux scénarios de base eREN (38 MJ/M²an, respectivement 28 MJ/m²an). Ce sont ceux qui se prêtent par ailleurs le mieux à une densification. Le cas 06 est un bâtiment relativement isolé situé en périphérie, ce qui permet une extension tant verticale (surélévation) qu'horizontale (agrandissement) qui influe de manière importante sur l'enveloppe thermique. L'étude de cas 07 qui voit l'impact des ponts thermiques très nettement amoindris grâce au sciage des nombreux balcons et l'isolation des têtes de dalles.

Les autres cas sont moins intéressants (gain énergétique pondéré situé entre 1 et 13 MJ/m²an). Le potentiel de densification se résume pour trois d'entre eux [études de cas 01, 03 et 09] à une simple surélévation avec un impact énergétique sur l'état existant limité aux pertes par la toiture et à une fermeture partielle des balcons [étude de cas 05] qui n'amène pratiquement pas de gain par rapport à la solution eREN de base.

L'étude de cas 06 démontre que l'impact sur la consommation énergétique d'un projet de densification est amplifié lorsque l'agrandissement combine un ensemble de mesures (surélévation + extension horizontale + résolution des ponts thermiques). Ce type de projet par extension horizontale est plus compliqué à mettre en œuvre sur des immeubles de grande dimension et grande hauteur où en règle générale la densité bâtie est déjà très élevée et où les réserves de m² à bâtir (coefficient d'utilisation du sol) sont déjà bien souvent épuisées. Il convient aussi de relever que par rapport aux scénarios d'assainissement seul péjorés par les ponts thermiques, l'extension horizontale des immeubles [études de cas 06 et 07] permet de régler le problème de manière efficace.

On peut en conclure que les immeubles de taille moyenne situés en périphérie, construits dans les années 1950 à 1980, souvent sans grand intérêt architectural de surcroît sont ceux pour lesquels l'extension se double d'un réel intérêt sur le plan de l'économie d'énergie. Cependant, il ne faut pas confondre extension des surfaces et densification. Pour que l'extension d'un appartement permette des gains énergétiques et une densification réels encore faut-il diminuer non seulement la consommation par m² de SRE (ce qui est le cas dans tous les scénarios étudiés) mais aussi diminuer la consommation d'énergie par occupant, respectivement augmenter le nombre d'habitants par m² de surface au sol. Dans tout projet d'extension/densification, cette question devrait clairement être posée dans un objectif de durabilité et de sobriété énergétique. Un projet qui voit la consommation diminuer par m² de SRE mais augmenter par occupant n'est pas un projet recommandable (sans parler de l'énergie grise incluse dans la construction des extensions qui n'a pas été traitée dans la présente étude). Symétriquement, on ne peut pas parler de densification si le projet permet d'augmenter les surfaces habitables mais pas le nombre d'habitants.

Un projet combinant efficience énergétique et densification est bien celui qui permettra de loger plus de personnes avec une empreinte énergétique moindre par habitant.

NOTE SUR LE CALCUL DES BILANS THERMIQUES

Le bilan thermique est un outil très utile dans le processus de projet d'un bâtiment neuf ou d'une rénovation. Il a ceci de particulièrement intéressant qu'il permet de comparer des variantes de projet (qu'on appelle ici des «scénarios»). Ces scénarios peuvent présenter des différences qui vont de la volumétrie et l'orientation du bâtiment au choix de l'isolation ou des verres de fenêtres.

Le bilan thermique étant une méthode très simplifiée de simulation du comportement thermique d'un bâtiment, il comporte de manière intrinsèque un degré d'imprécision qu'il convient de ne pas ignorer. Ce degré d'imprécision est d'autant plus grand que les performances thermiques d'un bâtiment sont élevées. Partant de ce postulat, le bilan thermique perd de son intérêt lorsqu'il n'est pas utilisé pour comparer des variantes de projet. En d'autres termes, il est illusoire de penser qu'on puisse prédire les consommations de chauffage d'un bâtiment avec grande précision. Il vaut mieux considérer le bilan thermique pour ce qu'il est : un outil d'aide au processus de projet.

Il convient également d'être conscient que la méthode du bilan thermique s'applique avec plus de pertinence pour des constructions neuves que pour la rénovation. En effet, comme le précise la norme SIA 380/1 art. 0.3.8 (édition 2009) et 0.3.7 (édition 2016): «La précision du calcul des besoins de chaleur dépend avant tout de la précision des données d'entrée». Dans le cas d'une construction neuve, les données d'entrée sont maîtrisées, les éléments de construction et leur performance connus d'avance (pour autant que le cahier des charges soit respecté lors de l'exécution).

Dans le cas d'une rénovation, de nombreuses inconnues demeurent quant à la composition des éléments et leur performance réelle (valeur U et taux d'infiltration principalement). Il y a généralement peu de temps et de moyens à disposition pour faire des sondages ou mesurer in situ les valeurs U. La précision n'est donc pas du tout la même que pour une construction neuve.

Dès lors, on peut légitimement poser la question de la pertinence de valeurs limites établies au dixième de MJ/m².an. Le travail interdisciplinaire qui a été mené tout au long du projet, même s'il a été source de richesses et s'il a contribué à consolider les connaissances des uns et des autres, a également montré quelques faiblesses. Partager le travail de documentation des bâtiments (visites, relevés, dessin de plans, etc.) et celui de la saisie des bilans thermiques par deux équipes distinctes requiert une communication sans faille et peut être une source d'erreurs d'appréciation ou de compréhension. À cela s'ajoute la difficulté de véritablement faire un travail itératif entre le projet et le bilan thermique.

Dans certains bilans élaborés à la base par une équipe et repris par une autre, les différences d'interprétation et d'hypothèses ont relevé des écarts jusqu'à 20% dans le résultat du bilan final. Les équipes étaient pourtant composées de personnes qualifiées, consciencieuses et relativement peu concernées par la pression du temps ou du budget qui caractériserait un mandat privé.

Les différences d'interprétation peuvent être légion. Voici quelques exemples qui ont été relevés lors de la reprise des bilans thermiques calculés dans le cadre d'eREN par la HEVS et la HEIG-VD par Hepia pour l'étude eREN2:

- le degré de ventilation des couches (dans l'étude de cas 09, la grille de façade intègre les descentes d'eau pluviale et les stores derrière des éléments de tôle métallique, non étanches). La définition du degré de ventilation (faible, moyen ou fort) ne peut être basée que sur une appréciation de la personne qui calcule le bilan en l'absence de relevé des flux réels in situ. Dans un des cas, elle l'a considéré comme faible, dans l'autre comme fort, ce qui fait varier considérablement le résultat final du bilan thermique.
- la précision du mètre: que ce soit les surfaces, vides d'étages, volumes, etc., tous ces éléments peuvent être entrés grossièrement ou avec beaucoup de finesse en fonction de la manière d'appréhender ces informations et du temps qui est passé à leur analyse. Ceci peut amener des différences notoires dans le résultat du bilan thermique.
- l'affectation des locaux peut être sujette à interprétation (l'étude de cas 09 où le sous-sol est partiellement occupé par une cuisine, une chambre-froide, une plonge, sans délimitation forcément très précise et relevée sur les plans.). Le paramétrage de l'affectation quantifié en surfaces amène à des différences dans le bilan. Peut-être plus que l'affectation, c'est le caractère chauffé, non chauffé ou tempéré de certains espaces (de nouveau sujets à interprétation) qui peut induire des différences.
- dans le même ordre d'idée, la position d'un local (contre chauffé, contre non chauffé, contre tempéré) est parfois difficile à établir, ne connaissant pas l'affectation des

locaux situés dans les immeubles voisins (ordre contigu), induisant des différences dans le bilan thermique.

- finalement, le degré de précision général peut amener à des différences dans le bilan: métrés, degré de détails (prend-on en compte les ponts thermiques liés aux installations techniques en toiture ou non? etc.), qualification des ponts thermiques (certains ponts thermiques sont simulés par logiciel, d'autres issus de valeurs «catalogues»).

Une des solutions qui permettrait de contourner ces difficultés est que la visite complète du bâtiment se fasse en présence de l'architecte et de l'ingénieur thermicien qui est en charge d'établir le bilan thermique, afin que chacun puisse se construire une bonne compréhension de l'objet à étudier. La visite in situ du bâtiment constitue une source riche et incomparable d'informations et de compréhension de l'objet à analyser. Compréhension qui ne sera jamais égale à celle issue de la seule consultation de la documentation fournie par un architecte. Documentation, qui pour être exhaustive, requiert un investissement conséquent.

Une solution alternative, qui réduit encore la marge d'erreur du bilan thermique, est de maîtriser intégralement le calcul du bilan au niveau de l'entité qui a la charge du projet (bureau d'architecture intégrant l'interdisciplinarité et concentrant les compétences), ce qui permet de véritablement faire un travail itératif. Les logiciels de simulation thermique disponibles sur le marché sont extrêmement simples à utiliser, le travail principal dans l'établissement d'un bilan thermique étant de documenter exhaustivement le bâtiment étudié.

ÉCONOMIE

Le coût des travaux de chaque scénario de densification a été chiffré selon la même méthode que celle utilisée dans l'étude eREN.

L'estimation des coûts des scénarios sous la forme d'un devis général a été faite selon la méthode du code des coûts de construction du bâtiment (eCCC-Bât) édictée par le centre de rationalisation du bâtiment (CRB), soumise à la norme SN 506 511. Les coûts des éléments ont été uniformisés quelle que soit la situation géographique du modèle. Pour mémoire les subventions, variables d'un canton à l'autre, n'ont pas été prises en compte afin de ne pas introduire de distorsion. Pour plus de détail sur la méthodologie, consulter le rapport de l'étude eREN.

Bien qu'il puisse être décisif pour le propriétaire en fonction de sa capacité d'investissement, le coût des travaux n'a en soi que peu d'intérêt. Afin de pouvoir comparer effectivement et objectivement les options, la capacité d'investissement du propriétaire ne doit pas rentrer en ligne de compte puisqu'elle dépend de sa situation personnelle et en aucun cas de celle de l'immeuble.

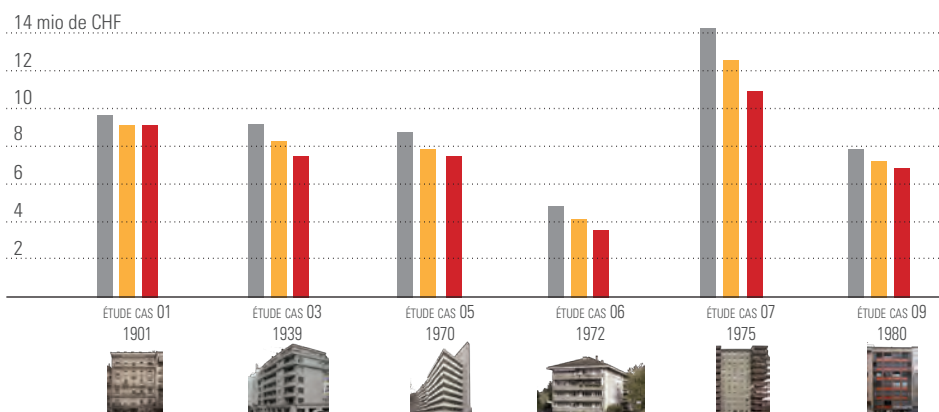
Du point de vue d'un investisseur c'est bien plus le retour sur investissement qui sera décisif. La décision entre les options sera prise en fonction du rendement qu'offre chacune d'elles:

- un entretien usuel de maintien en état de service
- un assainissement énergétique seul (scénario eREN)
- un assainissement couplé avec une augmentation des surfaces locatives (scénario eREN2)

Toutes les options pour chacun des cas d'étude ont été évaluées financièrement par un calcul d'actualisation des flux futurs (discounted cash flow – DCF) [voir méthode p.46]. Selon Rockinger et El Bernoussi, cette méthode est actuellement la plus utilisée par les experts en estimations immobilières en Suisse et elle est imposée par la Finma pour l'évaluation des immeubles par les fonds immobiliers¹³. C'est pour coller à cette réalité du marché que nous avons choisi de l'appliquer, bien qu'elle soit basée sur de nombreuses hypothèses difficilement vérifiables sur le très long terme (calculs sur 100 ans) et très sensible au taux d'actualisation choisi.

Ce calcul tient compte des flux futurs sur cent ans en extrapolant des revenus locatifs théoriques, les charges d'exploitation et les investissements à consentir pour chacune des trois options. Les charges d'énergie n'entrent pas en ligne de compte dans le calcul puisqu'elles sont à charge des locataires. Les investissements consentis pour l'assainissement énergétique des parties existantes excédant le coût de maintien en l'état (estimé à 40% du coût des travaux) sont répercutés sur les loyers selon l'ordonnance fédérale sur le bail à loyer (art. 14 OBFL). Les loyers des parties neuves ont été estimés selon les prix du marché.

À nouveau, l'étude ayant pour cadre la Suisse romande en général, certaines spécificités locales ont été volontairement ignorées. À ce titre, les calculs de loyers induits par les lois genevoises (LDTR) et vaudoises (LPPPL) n'ont pas été pris en compte. Les impacts fiscaux, trop liés à la situation personnelle du propriétaire, n'ont pas non plus été pris en considération.



13 Prof. M. Rockinger et R. El Bernoussi, Estimation immobilière: comparaison des pratiques existantes et pistes de réflexion, Cronos Finance, Thin tan Cronos 2017, septembre 2017.

Fig. 18 Graphique des valeurs actuelles des différentes options selon la calcul d'actualisation.

- entretien courant
- assainissement seul (scénario eREN)
- assainissement + extension scénario eREN2)

Sur les six cas d'étude, le podium est identique. L'option la plus rentable pour un investisseur désireux de conserver son bien sur le long terme et de maximiser le rendement financier est de l'entretenir régulièrement et de résoudre au fur et à mesure les problèmes de vétusté qui apparaissent, sans plus.

Ceci est rendu possible en Suisse par l'excellente qualité de construction des structures, qui si elles restent à l'abri des intempéries peuvent sans problème être utilisées pendant plusieurs centaines d'années.

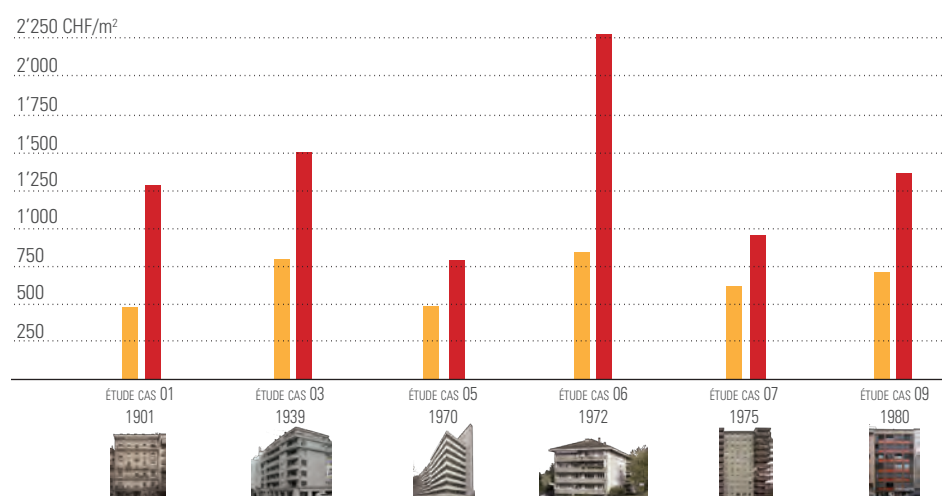
En l'absence de dispositions légales contraignantes obligeant le propriétaire à rénover, c'est aussi la solution la plus simple en termes de tracés administratifs et d'investissement personnel.

En deuxième position apparaît l'option d'assainissement seul et finalement, dans tous les cas étudiés, la variante la moins rentable du point de vue d'un investissement purement financier est celle de la densification.

Un examen plus détaillé de la situation ne permet pas de dégager une tendance relative à la taille ou à la situation du bâtiment. Il faut cependant relever que c'est le scénario de densification par surélévation sur des immeubles contigus et situés dans un tissu urbain très dense (études de cas 01 et 09) qui présente l'écart le plus faible entre la rentabilité de l'entretien courant seul et la densification. La taille de l'échantillon est cependant trop restreinte pour parler de tendance.

Fig. 19 Graphique des coûts par m² de SP + SEP

- assainissement seul (scénario eREN)
- assainissement + extension (scénario eREN2)



Il serait cependant simpliste et pessimiste de conclure que les options d'assainissement et de densification sont condamnées du fait de leur moindre rentabilité:

1. Dans certains cas étudiés, l'écart de rendement n'est pas forcément rédhibitoire. Une pesée d'intérêts, même purement financiers, pourrait conduire un propriétaire qui ne compte pas forcément conserver son bien sur le long terme à choisir de se lancer dans des travaux, en tablant sur le fait qu'un acquéreur peu désireux de gérer lui-même des travaux préférera payer une prime pour acquérir le bâtiment déjà rénové.
2. Tous les propriétaires ne sont pas à la recherche d'une maximisation du gain financier. Le rendement a en général une grande importance dans l'immobilier locatif mais d'autres considérations peuvent entrer en ligne de compte. Par exemple, des propriétaires publics et parapublics peuvent se donner un devoir d'exemplarité, avoir des obligations statutaires, etc., des propriétaires privés occupants les lieux peuvent être à la recherche d'un meilleur confort et la rareté des opportunités de placement dans l'immobilier direct peut inciter des investisseurs institutionnels contraints par leur allocation stratégique à investir des fonds dans une densification faute d'objets offrant un meilleur rendement sur le marché.
3. La pénurie de logements dans les centres urbains en Suisse n'est pas une fatalité ad aeternam. Depuis quelques années le taux de logements vacants est globalement à la hausse en Suisse. Si les loyers partaient effectivement à la baisse, les propriétaires qui offrent un meilleur standing (appartements rénovés, typologies mises au goût du jour) pourraient en sortir gagnant face à ceux qui se sont contentés de maintenir en état des logements moins attractifs.

Compte tenu de ces éléments, la rénovation énergétique d'un bâtiment combinée à une densification peut parfaitement correspondre à la stratégie financière de certains propriétaires.

SYNERGIES ET CONTRAINTES

Un bâtiment existant ne correspond que très rarement aux différentes normes en vigueur. Par contre il bénéficie de droits acquis et à quelques exceptions près, on ne peut pas, selon la législation actuelle, imposer une rénovation lorsque le propriétaire n'envisage pas de travaux. Lorsque des travaux sont annoncés, il est clair que les nouvelles parties doivent répondre aux normes en vigueur, mais la situation est plus floue pour les parties existantes. Trouver des synergies en améliorant des éléments vétustes ou obsolètes (protection incendie, sécurité sismique, dispositif de protection contre la chute, accès aux PMR, ventilation) peut être un atout financier pour le propriétaire. Cependant elles dépendent fortement des travaux d'entretien et de rénovation effectués sur le bâtiment au long de sa durée de vie. Selon le cahier technique SIA 2047¹³, «on examinera si des obligations de rénover des éléments peuvent être combinées avec des mesures énergétiques d'une manière économiquement supportable».

13 voir cahier technique SIA 2047, chapitre 3.2.4.2 «Obligation de rénover»

VÉTUSTÉ DES ÉLÉMENTS DE L'ENVELOPPE

Une rénovation énergétique, tout comme une densification de l'immeuble trouve un intérêt économique lorsqu'elle permet de rénover un ou plusieurs éléments vétustes (toiture, façades et fenêtres, plancher contre espace non chauffé ou balcons). Les synergies à trouver dépendent moins de la stratégie de densification que de l'état du bâtiment. L'étude de cas 01 surélève un bâtiment avec une toiture rénoverée il y a une quinzaine d'années par exemple. Idéalement, on entreprend des travaux sur des éléments en fin de vie ou avec une durée de vie réduite. Cependant, à cause de la complexité des paramètres entrant en jeu, la stratégie de rénovation [études de cas 05 et 09] ne peut pas toujours tenir compte de la durée de vie des éléments. Certains éléments, même en bon état ne répondent parfois plus aux nouvelles exigences que l'usage leur impose. Lors de surélévation par exemple, des travaux d'isolation phonique de la dalle entre la partie existante et nouvelle sont généralement nécessaires. Elle doit répondre aux exigences de protection contre le bruit avec les logements existants en dessous, mais aussi aux exigences de protection incendie.

Fig. 20 Tableau d'état de vétusté des éléments de l'enveloppe à l'état existant et après intervention.

✓ bon état / suffisant
(✓) bon état / suffisant (pas lié à la stratégie de densification)
○ légèrement dégradé
✗ vétuste / insuffisant
– pas présent

Elément de l'enveloppe	Etude de cas 01 agrandir des pièces surélever l'immeuble			Etude de cas 03 surélever l'immeuble			Etude de cas 05 agrandir des pièces			Etude de cas 06 ajouter des pièces surélever d'un étage			Etude de cas 07 ajouter une «couche» non-chauffée			Etude de cas 09 surélever l'immeuble		
	existant	eREN	eREN2	existant	eREN	eREN2	existant	eREN	eREN2	existant	eREN	eREN2	existant	eREN	eREN2	existant	eREN	eREN2
Toiture	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	○	✓	✗	✓	(✓)	✗	✓	✓
Façades	○	✓	✓	○	✓	(✓)	✓	✓	✓	○	✓	✓	✓	✓	✓	○	✓	(✓)
Fenêtres	○	✓	✓	✓	✓	(✓)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	○	✓	✓	○	✓	(✓)
Balcons, terrasses	✓	✓	✓	✗	✓	(✓)	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓
Dalles, planchers contre espace non-chauffé	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

COMPLEXITÉ CONSTRUCTIVE

Dans la transformation de bâtiments, les nombreux raccords constructifs complexifient les interventions par rapport à une construction neuve. Les nouveaux éléments constructifs doivent se raccorder à des parties d'ouvrage existantes. Les surélévations doivent tenir compte de la structure portante du bâtiment [voir chapitre sécurité sismique] et du raccord aux cages d'escaliers et ascenseurs existants [études de cas 01, 06 et 09]. Les extensions de volume [études de cas 06] nécessitent une précision dans le raccord du niveau des dalles selon les hauteurs d'étage existantes. La prise en compte de cette complexité nécessite un travail de relevé en amont afin de pouvoir faire une étude précise de ces détails qui doivent tenir compte d'une certaine tolérance pour la mise œuvre.

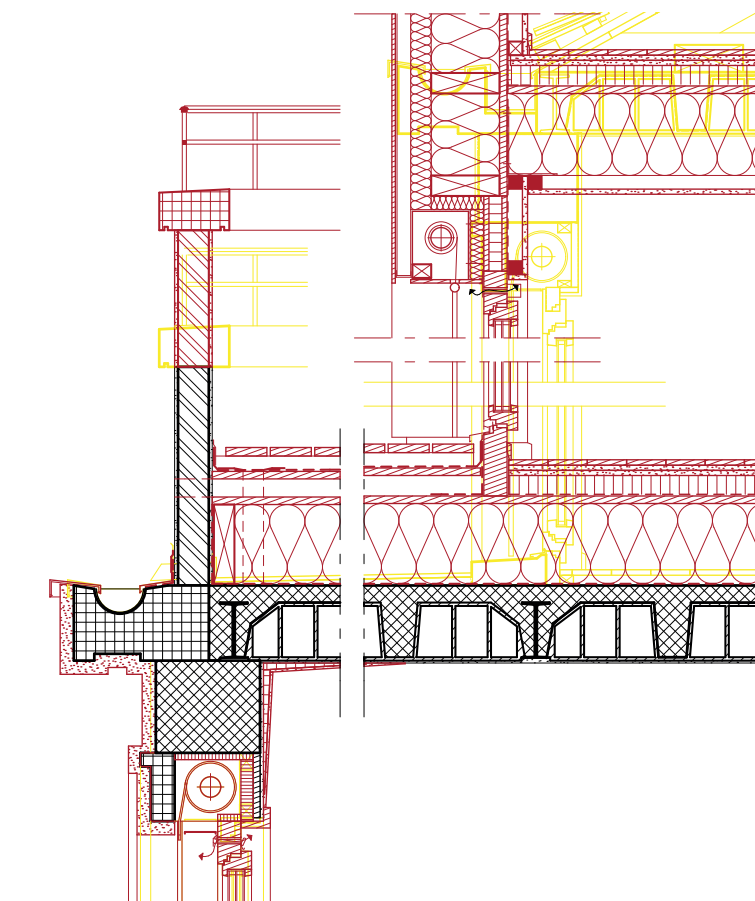


Fig. 21 Détail de l'étude de cas 03.
Plancher entre le bâtiment existant et la surélévation.

Le détail de l'étude de cas 03 illustre cette complexité. Un plancher de répartition entre le bâtiment existant et la surélévation permet de reporter les charges sur les murs porteurs extérieurs, d'isoler phoniquement la dalle entre les logements existants et les nouveaux appartements, d'isoler thermiquement les terrasses et de gérer les installations techniques. Mais il engendre la rehausse des garde-corps, la création de marches d'escalier supplémentaires pour accéder aux nouveaux appartements et ne résout pas entièrement le pont thermique de la dalle à hourdis existante (une isolation sous l'attique est nécessaire).

OBSOLESCENCES FONCTIONNELLES

Dans le cadre du projet, les obsolescences liées à la protection incendie, la protection contre la chute, la ventilation, l'accessibilité aux personnes à mobilité réduite ont été identifiées sans pour autant être intégrées aux scénarios de rénovation. Dans une seconde étape, le développement des scénarios doit tenir compte de ces synergies et analyser, selon le principe de la proportionnalité, de les intégrer partiellement ou en totalité. La sécurité sismique a fait l'objet d'une étude plus approfondie. Le projet n'a cependant pas traité les obsolescences liées à la production de chaleur, les installations électriques et sanitaires.

	 agrandir des pièces surélever l'immeuble Etude de cas 01			 surélever l'immeuble Etude de cas 03			 agrandir des pièces Etude de cas 05			 ajouter des pièces surélever d'un étage Etude de cas 06			 ajouter une «couche» non-chauffée Etude de cas 07			 surélever l'immeuble Etude de cas 09		
	existant	eREN	eREN2	existant	eREN	eREN2	existant	eREN	eREN2	existant	eREN	eREN2	existant	eREN	eREN2	existant	eREN	eREN2
Conformité aux prescriptions de sécurité incendie	—	—	—	X	✓	✓	—	—	—	X	X	X	X	✓	✓	—	—	—
Respecter la loi et l'ordonnance pour les PMR	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	X	X	X	✓	✓	✓	X	X	X
Conformité des dispositifs de protection contre la chute	X	✓	✓	X	✓	✓	X	✓	✓	X	✓	✓	X	X	✓	X	✓	✓
Assurer la ventilation des espaces	✓	✓	✓	X	✓	✓	X	✓	✓	X	✓	✓	X	✓	✓	X	✓	✓
Respecter la sécurité parasismique	ME	o	o	ME	o	o	MP	o	o	MP	o	+	MP*	o	o	PM	o	o

PROTECTION INCENDIE

En plus des aspects développés dans le chapitre «cadre légal», l'étude a analysé certaines contraintes liées au compartimentage coupe-feu des voies d'évacuation, à la longueur des voies d'évacuation et aux matériaux de construction de l'enveloppe qui ont une grande influence sur le potentiel de densification.

Contraintes liées au changement de catégorie (hauteur) du bâtiment:

- **La résistance au feu de la structure et des voies d'évacuation:** lorsqu'un bâtiment passe de «faible hauteur» à «moyenne hauteur», les exigences concernant la résistance au feu et la construction des systèmes porteurs des planchers et des voies d'évacuation verticales se renforcent. Les bâtiments d'avant-guerre avec des planchers en bois peuvent être confrontés à une mise en conformité¹⁴ lors de travaux de surélévation.
- **Les voies d'évacuation:** dans les bâtiments de faible ou moyenne hauteur, il est possible de renoncer aux fermetures coupe-feu entre les voies d'évacuation horizontales et verticales dans certaines situations¹⁵. Lorsque la surélévation d'un bâtiment de «moyenne hauteur» le fait passer à plus de 30 mètres, une cage d'escalier de sécurité est exigée. La mise en place de fermeture coupe-feu, voire de sas de mise en surpression¹⁶ peut s'avérer difficile voire impossible à mettre en œuvre dans un bâtiment existant.
- **La construction de l'enveloppe:** la catégorie du bâtiment joue un rôle sur les revêtements de parois extérieures et les isolations thermiques de l'enveloppe du bâtiment. Les façades des bâtiments de moyenne hauteur se composent de matériaux combustibles doivent être conçues de telle sorte qu'un incendie sur la paroi extérieure ne puisse se propager plus de deux étages au-dessus avant l'intervention des sapeurs-pompiers (DPI 14-15, ch.3.1.1, al.2)¹⁷. Pour les bâtiments élevés, les matériaux des isolations thermiques extérieurs doivent être incombustibles. La surélévation d'un bâtiment peut alors avoir des implications sur le choix des matériaux utilisés pour les façades et leurs isolants thermiques [voir étude de cas 05].

Contraintes liées à une extension horizontale:

- **La longueur des voies d'évacuation:** la longueur totale des voies d'évacuation est limitée à 35 mètres lorsque ces voies aboutissent à une seule voie d'évacuation verticale ou une seule issue donnant sur un lieu sûr à l'air libre¹⁸. Dans le cas d'un agrandissement horizontal du volume, une voie d'évacuation verticale supplémentaire peut s'avérer nécessaire.

Lors de travaux, on vérifiera aussi la conformité des voies d'évacuation. Notamment, la largeur minimale des escaliers et des voies d'évacuation horizontale doivent être de 1.20 mètre. Les portes palières doivent avoir une résistance au feu minimum EI30. Le sens d'ouverture des portes des voies d'évacuation doivent s'ouvrir dans le sens de fuite pour les bâtiments dès dix appartements¹⁹. On vérifiera aussi les installations de désenfumage des voies d'évacuation.

Fig. 22 Tableau récapitulatif du respect des obsolescences fonctionnelles à l'état existant et après intervention.

✓	respecté
X	pas respecté (nécessite une dérogation ou la mise en œuvre de mesures supplémentaires)
—	pas d'information
ME	mesure de renforcement exigée
MP	mesure de renforcement selon le principe de proportionnalité
PM	pas de mesure de renforcement
o	effet du scénario nul
+	effet du scénario favorable
*	nécessite une étude plus approfondie

14 Directives AEAI, utilisation des matériaux de construction / 14-15 f, art. 3.1 - géométrie du bâtiment.

15 Directives AEAI, voies d'évacuation et sauvetage / 16-15 fr, art. 3.2 - bâtiment d'habitation.

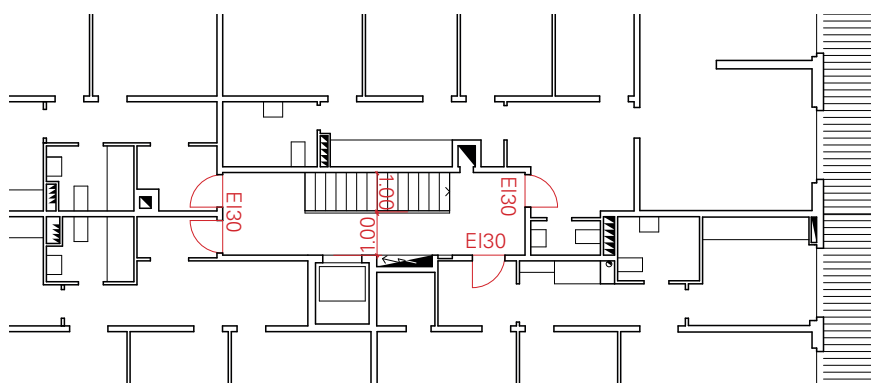
16 Directives AEAI, voies d'évacuation et sauvetage / 16-15 fr, art. 3.9 - bâtiments élevés.

17 Les isolations thermiques par l'extérieur (isolations périphériques) des bâtiments de hauteur moyenne, composées de matériaux combustibles doivent être réalisées avec un système reconnu par l'AEAI ou équivalent. Sinon, il doit exister à chaque étage une protection par bande filante, faisant tout le tour du bâtiment, composée de matériaux RF1 (température de fusion supérieure à 1'000°C) et d'une hauteur de 0,2 m au minimum (DPI 14-15, ch.3.2.2, al.1).

18 Directives AEAI, voie d'évacuation et de sauvetage / 16-15 fr, art. 2.4.3.

19 Directives AEAI, voies d'évacuation et sauvetage / 16-15 fr, art. 3.2.3.

Fig. 23 Plan de l'étage type existant de l'étude de cas 06. La largeur du couloir et de l'escalier, inférieure à 1,20 mètres ne respecte pas les exigences incendie pour les voies d'évacuation. La situation nécessite une prise de contact avec les services concernés avant d'envisager une surélévation. Des nouvelles portes palières EI30 doivent être mise en place.



DISPOSITIF CONTRE LA CHUTE

Les exigences en matière de protection contre la chute ont évolué dans le temps et les dispositifs existants ne respectent souvent plus les normes actuelles²⁰. Les travaux de mise en conformité sont rarement entrepris lors de l'entretien courant du bâtiment. La rénovation énergétique de l'enveloppe avec une densification est l'occasion d'intégrer les travaux de mise en conformité des dispositifs contre la chute. La hauteur normale d'un élément de protection est d'au moins 1,0 mètre et les parapets fixes d'une largeur d'au moins 20 cm auront une hauteur minimale de 0,90 mètre.

Dans l'étude de cas 07, la résolution des ponts thermiques de la dalle des balcons par leur sciage et la mise en œuvre d'une nouvelle « couche » résout également le problème de hauteur trop faible des garde-corps existants [voir plans et coupes figure 23].

Dans les bâtiments avant-guerre, les fenêtres ont fréquemment des contrecœurs inférieurs à 65 cm [voir étude de cas 01]. L'ajout d'une couche côté cour résout ici également le problème de sécurité.

La mise en place de l'isolation sur les terrasses et les balcons implique souvent un rehaussement des garde-corps [voir étude de cas 03].

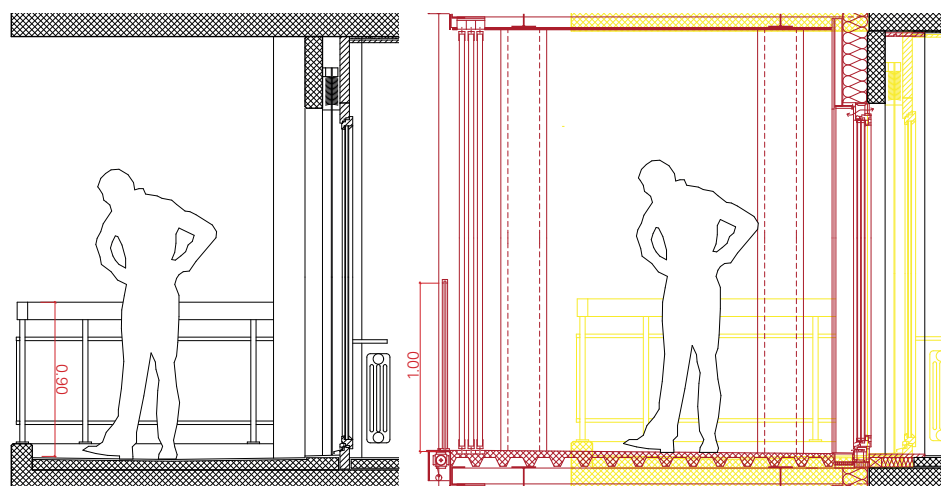


Fig. 24 Coupe de détail de l'existant et du scénario de l'étude de cas 07. Les garde-corps de 90 cm de hauteur sont remplacés par des garde-corps de 1,00 mètre dans le scénario de la nouvelle « couche » extérieure.

ACCESSIBILITÉ AUX PERSONNES À MOBILITÉ RÉDUITE

Les bâtiments existants comportant des obstacles d'accessibilité pour les personnes à mobilité réduite nécessitent la mise en œuvre de mesures complémentaires ou une dérogation dans le cadre du principe de la proportionnalité [voir SIA 500].

Les deux bâtiments construits avant-guerre et entre-deux-guerres [études de cas 01 et 03] ont quelques marches avant d'accéder à l'ascenseur. Ils étaient souvent construits un demi-niveau en dessus de la rue. Dans la majorité des bâtiments [études de cas 01, 03, 05, 06 et 09] les cages d'ascenseur sont trop exiguës. Dans les bâtiments d'avant-guerre, elles sont parfois installées au milieu du noyau de l'escalier, dans un espace réduit. Certains bâtiments des années 60 à 80 avec des noyaux centraux de distribution verticaux [études de cas 06 et 09] ont été construits avec des dimensions minimales. Les paliers trop étroits ne correspondent pas aux exigences légales actuelles (minimum 140 cm) pour l'accès aux personnes à mobilité réduite et de par leur emplacement, leur modification est pratiquement impossible.

VENTILATION, INSTALLATIONS TECHNIQUES ET ÉNERGIES RENOUVELABLES

L'enveloppe rénoverée et encore plus la partie de l'enveloppe très performante thermiquement de l'extension sont étanches afin d'apporter un meilleur confort en diminuant les infiltrations d'air frais. Cependant, il faut prévenir les dégâts dus à l'humidité en assurant un renouvellement d'air suffisant, soit en installant une aération contrôlée, soit des grilles de ventilation hygroréglable en façades. En effet, une aération par l'ouverture des fenêtres s'avère souvent insuffisante; les usagers étant souvent absents une grande partie de la journée, ils ne peuvent ainsi pas ouvrir les fenêtres.

L'intégration de système d'aération dépend de la stratégie proposée. Lors de l'ajout d'une couche non chauffée, l'installation des grilles hygroréglables peut être une bonne solution. Pour autant que la façade ne soit pas entièrement étanche, elles permettent d'introduire un air de la zone «tampon» avec une température légèrement supérieure [voir figure 23]. Les surélévations permettent d'intégrer en toiture les installations techniques nécessaires à la mise en place d'une ventilation contrôlée pour autant que les gaines et la distribution des espaces existants en dessous le permettent.

Bien que le projet n'ait pas tenu compte des installations techniques, la vétusté des conduites et des installations doit être prise en compte dans chaque projet de rénovation. Toutes les surélévations ou les extensions du volume nécessitent une modification des gaines techniques ou un raccordement à une installation existante. La stratégie de densification peut trouver son sens dans les synergies avec des travaux d'assainissement de conduits de ventilation, d'eau potable et d'évacuations des eaux usées ou de distribution de chauffage. L'extension du volume peut être l'occasion d'améliorer la typologie des logements en intégrant par exemple des cuisines ou des espaces sanitaires plus généreux sans devoir créer de nouvelles gaines verticales dans le bâtiment existant [voir étude de cas 06].

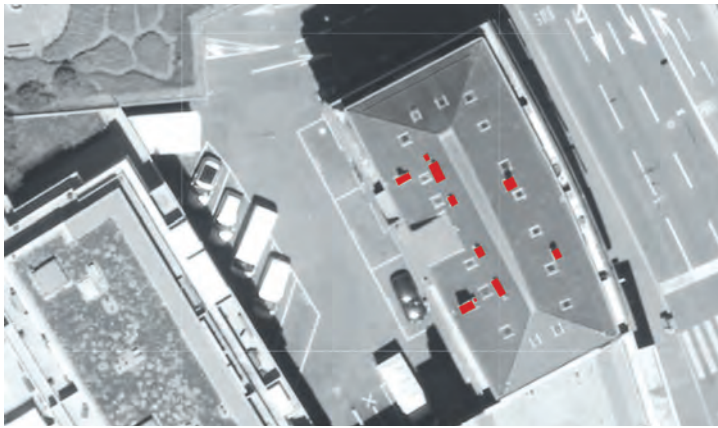


Fig. 25 Image aérienne de la toiture de l'étude de cas 03. On distingue les nombreuses sorties de gaines en toiture à gérer dans un projet de surélévation.

La rénovation énergétique combinée avec une densification est l'occasion d'intégrer au projet les énergies renouvelables. Bien que cet aspect ne fasse pas l'objet du présent projet de recherche, une part de l'énergie de l'extension doit provenir d'énergie renouvelable, cette part exigée est variable selon les cantons. Ainsi une surélévation est une opportunité d'intégrer à la nouvelle toiture une production d'énergie solaire. Alors qu'extension du volume peut intégrer des panneaux solaires autant en toiture que sur la façade selon son orientation. L'adjonction d'une nouvelle couche peut aussi devenir source de production d'énergie.

SÉCURITÉ SISMIQUE

Les six études de cas ont été analysées avec une méthodologie de type «Quick assessment» développée à la HEIA [voir chapitre 10]. Trois bâtiments [études de cas 01, 03 et 06] ont été sélectionnés pour une analyse relativement approfondie de leur sécurité sismique (état existant) à l'aide de la méthode du spectre de réponse par le biais d'une modélisation numérique avec le logiciel SCIA.

LA VULNÉRABILITÉ SISMIQUE DES BÂTIMENTS – ÉTAT EXISTANT



Étude de cas 01: sur la base des résultats issus de la modélisation numérique, le bâtiment de l'étude de cas 01 a un facteur de conformité $\alpha_{\text{eff}} < 0.25$, sans considérer les bâtiments accolés, ceci étant dû à la forte vulnérabilité sismique de ses murs hors de leur plan; au vu de la valeur du facteur de conformité (inférieure à $\alpha_{\text{min,COI}} = 0.25$), les mesures de mise en conformité sont exigibles (SIA 2018). En revanche, les murs stabilisateurs de ce bâtiment semblent avoir la résistance suffisante pour reprendre la sollicitation sismique dans leur plan ($\alpha_{\text{eff,in-plane}} > 1.0$). Ce résultat est confirmé par l'application de la méthode «rapide» développée au sein de la HEIA.



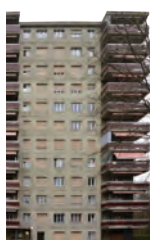
Étude de cas 03: sur la base des résultats issus de la modélisation numérique, le bâtiment situé au centre de Lausanne a un facteur de conformité $\alpha_{\text{eff}} \approx 0.1$, ceci étant dû à la forte vulnérabilité sismique de ses murs dans leur plan, au niveau du rez-de-chaussée. Dans ce cas, les mesures de mise en conformité sont exigibles (SIA 2018). Ce résultat est confirmé par l'application de la méthode «rapide» développée au sein de la HEIA; le facteur de conformité obtenu est de $\alpha_{\text{eff}} \approx 0.25$. Bien que plus élevé, ce facteur indique également que la vulnérabilité de ce bâtiment est élevée et que des mesures de confortement sont exigibles.



Étude de cas 05: le bâtiment n'a été traité qu'avec la méthodologie «Quick assessment» de la HEIA et le facteur de conformité obtenu est de l'ordre de $\alpha_{\text{eff}} \approx 0.9$ (résistance dans le plan des éléments stabilisateurs), ce qui indique que le bâtiment offre une sécurité inférieure à ce que les normes actuelles exigent, mais de peu (0.1). Dans ce cas, il est évidemment préférable de conforter le bâtiment, mais sur la base du cahier technique SIA 2018, les coûts engendrés par un confortement ont peu de chance de satisfaire au critère de proportionnalité.



Étude de cas 06: sur la base des résultats issus de la modélisation numérique, le bâtiment a un facteur de conformité $\alpha_{\text{eff}} \approx 0.4$, ceci étant dû à une certaine vulnérabilité sismique de ses murs dans leur plan, au niveau du rez-de-chaussée. Dans ce cas, la proportionnalité des mesures de mise en conformité est à évaluer (SIA 2018). Ce résultat est confirmé par l'application de la méthode «rapide» développée au sein de la HEIA; le facteur de conformité obtenu est de $\alpha_{\text{eff}} \approx 0.7$. Bien que plus élevé, ce facteur indique également une vulnérabilité sismique modérée et que des mesures de confortement sont à réaliser si leur coût satisfait au critère de proportionnalité.



Étude de cas 07: en appliquant la méthodologie «Quick assessment» au bâtiment se trouvant à Fribourg, une valeur de $\alpha_{\text{eff}} \approx 0.5$ a été obtenue (résistance dans le plan des éléments stabilisateurs). Cette valeur est néanmoins à considérer comme uniquement indicative car:

- la construction est composée d'éléments préfabriqués en béton armé et la méthodologie développée ne permet malheureusement pas de prendre en considération les particularités structurales des systèmes de préfabrication (murs et planchers), en particulier en relation avec sur la sécurité sismique d'un bâtiment;
- la classe de sol de fondation est en catégorie F, ce qui indique un sol de mauvaise qualité d'un point de vue constructif ; il n'y a pas de précisions quant à la nature exacte du sol qui nous permettrait d'affiner nos valeurs du facteur de conformité.

Dans le cas de ce bâtiment, il est très clair qu'une étude approfondie de la structure du bâtiment est nécessaire pour évaluer sa sécurité sismique.



Étude de cas 09: le bâtiment se trouvant au centre-ville de Genève comporte suffisamment d'éléments stabilisateurs dans les deux directions pour assurer un comportement sismique satisfaisant. Le facteur de conformité obtenu, à l'aide de la méthode «Quick assessment», est de $\alpha_{\text{eff}} > 1.0$, sans prise en compte des bâtiments accolés.

LA VULNÉRABILITÉ SISMIQUE DES BÂTIMENTS – SCÉNARIOS

Par soucis de cohérence, la même démarche a été suivie pour évaluer l'apport de transformations structurelles, définies en amont dans le projet, à la sécurité sismique des bâtiments sélectionnés. Ainsi, la sécurité sismique des bâtiments des études de cas 01, 03 et 06, a été évaluée sur la base d'une analyse approfondie à l'aide de la méthode du spectre de réponse. La sécurité sismique des bâtiments des études de cas 05, 07 et 09, a également été traitée de la même manière, soit avec une méthodologie de type «Quick assessment» développée à la HEIA, mais en tenant compte de la transformation proposée. Les itérations nécessaires à l'intégration dans les scénarios étudiés de toutes les mesures de renforcement sismique n'ont pu être traitées dans le cadre de ce projet. Les résultats de l'étude sismique sont présentés ci-dessous.

Étude de cas 01: la transformation proposée dans le cadre du projet eREN2 consiste à détruire les combles actuels pour les remplacer par deux étages en construction bois. De manière résumée, cela engendre:

- une augmentation légère (structure en bois) de la masse (1 étage, au final);
- une augmentation de la hauteur du bâtiment (1 étage).

De manière générale et pour cette configuration, les impacts de cette transformation sur le comportement sismique sont:

- les caractéristiques très différentes des matériaux «maçonnerie en moellons» et «bois», en particulier la rigidité flexionnelle de leur structure respective, ne devrait pas entraîner d'augmentation significative de la période fondamentale (réponse dynamique «plus souple»; pour autant que la structure soit régulière en plane et en élévation).
- une augmentation des efforts normaux dans les murs; dans le cas d'un taux de compression faible à moyen, cette augmentation est plutôt favorable pour le comportement de la maçonnerie à la flexion composée. En revanche, si le taux de compression est élevé, une surélévation est plutôt défavorable car elle limite la résistance des murs en maçonnerie aux efforts sismiques.
- une surélévation avec une structure bois (structure porteuse verticale et horizontale) peut contribuer à améliorer la vulnérabilité sismique hors-plan des murs en maçonnerie de moellons, cependant, pas à 100%, c'est pourquoi, il faut tout de même ancrer les murs dans les planchers à d'autres hauteurs.

Dans le cas précis du bâtiment de Carouge, on constate que la surélévation proposée diminue légèrement le facteur de conformité, car le taux de compression s'avérerait relativement élevé par rapport à la résistance à la compression des murs en moellons équarris, que l'on a par ailleurs estimée à 16 MPa (f_{xk}). Le facteur de conformité s'élève néanmoins à $\alpha_{\text{eff, in-plane}} \approx 1.0$. Le facteur de conformité du bâtiment reste néanmoins à $\alpha_{\text{eff}} < 0.25$, dû à la vulnérabilité hors-plan des murs.

Ce résultat est confirmé par l'application de la méthodologie «Quick assessment» de la HEIA.

Étude de cas 03: la transformation proposée consiste à détruire l'étage de l'attique actuel et les remplacer par deux étages en construction bois. De manière résumée, cela engendre:

- augmentation légère (structure en bois) de la masse (1 étage, au final, par rapport à la situation de base);
- augmentation de la hauteur du bâtiment (1 étage).

Les impacts de cette transformation sur le comportement sismique sont:

- vu qu'un attique en maçonnerie est remplacé par deux étages en construction bois, la variation de la masse est très faible, générant ainsi de faibles différences au niveau du comportement sismique du bâtiment. Aussi, bien que dépendant de la disposition et la configuration de la structure porteuse en bois par rapport à la structure existante, il paraît vraisemblable que cette surélévation n'entraîne pas d'augmentation significative des efforts normaux dans les murs de la structure existante.
- les caractéristiques très différentes des matériaux «maçonnerie en briques ciment» et «bois», en particulier la rigidité flexionnelle de leur structure respective, ne devrait pas entraîner d'augmentation significative de la période fondamentale (réponse dynamique «plus souple»; pour autant que la structure du bâtiment existant ne soit pas transformée).

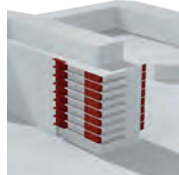
Sur la base de l'application de la méthode «rapide» développée au sein de la HEIA, le facteur de conformité obtenu pour le bâtiment transformé est de $\alpha_{\text{eff}} \approx 0.3$ (due à une légère augmentation favorable du taux de compression dans les éléments stabilisateurs), soit légèrement plus élevé que la valeur obtenue pour le bâtiment dans l'état existant. Il paraît



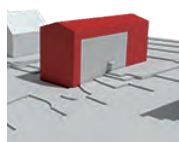
Stratégies 03 et 06



Stratégie 06



Stratégie 02



Stratégies 03 et 06

clair que la surélévation ni n'améliore, ni ne diminue la sécurité sismique de l'objet. En revanche, la réalisation de cette surélévation constitue sans assurément l'occasion de mettre le bâtiment en conformité du point de vue parasismique. Les investissements financiers pour ces mesures ont été imputés dans le chiffrage des coûts.

Étude de cas 05: la transformation proposée consiste à agrandir légèrement les balcons. Cela n'a quasiment pas d'impact sur le comportement sismique du bâtiment. Par conséquent, le facteur de conformité ne diffère pas de celui obtenu pour la structure non-transformée.

Étude de cas 06: la transformation proposée consiste à détruire et surélever le bâtiment par un étage, en construction bois et d'autre part à construire de nouveaux volumes sur les côtés du bâtiment existant. De manière résumée, cela engendre:

- augmentation (structure en bois) de la masse (1 étage);
- augmentation de la hauteur du bâtiment (1 étage), mais la structure porteuse est différente;
- ajout d'un nouveau volume sur un côté du bâtiment dont la structure porteuse est composée d'un mur isolant phonique (béton armé) et d'éléments de structure bois. Planchers bois/ béton probablement.

Les impacts de cette transformation sur le comportement sismique sont similaires aux impacts décrits pour le bâtiment se trouvant au centre-ville de Lausanne, à savoir:

- bien que dépendant de la disposition et la configuration de la structure porteuse en bois par rapport à la structure existante, il paraît vraisemblable que la surélévation proposée n'entraîne pas d'augmentation significative des efforts normaux dans les murs de la structure existante. En revanche, elle permettra de bien solidariser la structure du nouveau volume à l'objet existant.
- Concernant la surélévation, les caractéristiques très différentes de la maçonnerie en briques, du béton armé et du bois, en particulier la rigidité flexionnelle de leur structure respective, ne devrait pas entraîner d'augmentation significative de la période fondamentale (réponse dynamique «plus souple»; pour autant que la structure soit régulière en plan et en élévation), ni de changements significatifs dans les modes de vibration (comportement dynamique de l'ouvrage).
- L'ajout d'un volume, sur les côtés du bâtiment existant, avec des murs porteurs en béton armé ou en maçonnerie est a priori favorable (cela dépend de la rigidité du bâtiment existant), pour autant que ceux-ci soient disposés dans la direction présentant une faiblesse d'un point de vue parasismique, que les nouvelles dalles soient bien fixées aux dalles de l'ouvrage existant et, pour finir, il faut éviter que ces murs accentuent l'excentricité entre le centre de masse et de rigidité. Dans ce sens, la réalisation de deux nouveaux volumes symétriques de part et d'autre du bâtiment est à privilégier. Aussi, ce qui n'est pas le cas ici, il faudrait éviter de rendre le bâtiment plus rigide, selon les caractéristiques parasismiques initiales du bâtiment.

L'impact de la transformation proposée a été évalué à l'aide de la méthode «Quick assessment» de la HEIA. On constate que le facteur de conformité obtenu est proche de $\alpha_{eff} \approx 0.8$; cette valeur est plus élevée que le facteur de conformité pour le bâtiment existant. Cette augmentation est principalement due au fait que la surface de la dalle a augmenté «plus vite» que la rigidité flexionnelle entraînant l'augmentation de la période fondamentale. Ce résultat semble cohérent avec la réalité, mais il est à noter que la méthode «Quick assessment» n'est pas adaptée pour estimer le facteur de conformité de structures transformées, car les hypothèses de calcul ne considèrent pas l'utilisation mixte (en particulier avec le bois) de matériaux.



Stratégie 02



Stratégie 06

Étude de cas 07: la transformation proposée consiste à détruire les balcons existants, à assainir les façades, puis de créer des balcons de type «loggia». De manière qualitative, une telle transformation peut s'avérer intéressante d'un point de vue parasismique, dans le sens que cela pourrait offrir l'occasion de pouvoir conforter certains murs existants, le cas échéant. Aussi, dans le cas d'une construction avec éléments préfabriqués en béton armé, cela pourrait permettre de réaliser des sondages, de manière facilitée, afin de définir exactement le système de préfabrication utilisé (pour les murs et les planchers) et, ensuite, d'évaluer son comportement sous séisme et ses faiblesses, le cas échéant.

Étude de cas 09: le bâtiment se trouvant au centre-ville de Genève comporte suffisamment d'éléments stabilisateurs dans les deux directions pour assurer un comportement sismique satisfaisant. La transformation proposée, à savoir la destruction de l'attique par une reconstruction en béton armé et une surélévation en structure bois, ne devrait pas diminuer

significativement le facteur de conformité de ce bâtiment. Le facteur de conformité obtenu, avec la transformation, à l'aide de la méthode «Quick assessment», est de $\alpha_{eff} > 1.0$.

Suite à l'évaluation de la vulnérabilité sismique des bâtiments proposés, on peut dresser les constatations générales suivantes:

Bâtiments construits jusqu'au début du XX^e siècle: les bâtiments construits avant les années 1920, pour autant que la structure n'ait subi aucune transformation notable (en particulier, l'ouverture d'espaces pour créer des surfaces commerciales), présentent généralement une sécurité sismique déficiente, souvent insuffisante (au sens des normes actuelles (2013), liée au renversement potentiel des murs porteurs. En effet, les planchers composés de poutres en bois n'assurent pas une connexion suffisante pour empêcher le renversement hors-plan des murs. Ce problème est généralement réglé par l'encastrement d'éléments métalliques (d'autres possibilités existent) connectant correctement les éléments de plancher aux murs et empêchant le renversement (hors de leur plan) de ces derniers. Ce type de confortement n'est pas particulièrement onéreux, mais très efficace. En revanche, les murs stabilisateurs de ces bâtiments, généralement en maçonnerie de moellons équarris, de bonne qualité, continus sur toute la hauteur du bâtiment, assurent généralement un bon comportement d'ensemble du bâtiment au séisme (pour autant que le renversement hors-plan des murs soit empêché).

Pour ce type de bâtiments et pour autant que le problème hors-plan des murs ait été résolu et que la structure ne présente pas de particularités structurelles, une surélévation avec une structure en bois ne devrait pas considérablement modifier le comportement sismique de la structure. Néanmoins, il faudrait être attentif à ce que la résistance à la compression de la maçonnerie soit suffisante pour reprendre les efforts normaux générés. Une étude évaluant l'impact potentiel de bâtiments accolés sur la vulnérabilité sismique du bâtiment traité doit être également réalisée.

Bâtiments construits dans l'entre-deux-guerres: de manière générale, pour ce type de bâtiments, il faut s'assurer que la majorité des murs soient continus sur toute la hauteur, et en particulier entre le rez-de-chaussée et le premier étage. En effet, ce type de bâtiments se retrouve essentiellement dans les centres urbains et dans bien des cas, le rez-de-chaussée présente une configuration structurelle différente des étages supérieurs pour répondre à une fonction différente des étages.

Dans ce cas, des mesures de confortement s'avèrent souvent exigibles et probablement coûteuses (qui plus est, si le bâtiment est en classe d'ouvrage II). Vu que les mesures à apporter doivent permettre de consolider le rez-de-chaussée, un scénario de rénovation prévoyant la construction de murs complémentaires serait souhaitable (même si le bâtiment a été bâti en continuité à d'autres et se trouve dans un réseau urbain dense). Une surélévation de ce type de bâtiments n'apporte rien de favorable pour la sécurité sismique ; en revanche, elle pourrait s'avérer défavorable.

Bâtiments résidentiels construits dans les années 1970: l'étude de deux bâtiments résidentiels construits dans les années 1970 montre qu'ils ont une sécurité sismique moyenne à satisfaisante. Il faut néanmoins considérer ce résultat avec un certain recul. En effet, on retrouve souvent des bâtiments du type «de l'étude de cas 06, dont le sous-sol n'est pas du tout enterré et qui ne peut être considéré comme un caisson rigide (sans abri antiatomique et avec une rangée de garages occupant toute le bas d'une façade). Dans une telle situation, le bâtiment peut présenter une vulnérabilité sismique élevée et il faut analyser ce dernier de manière approfondie.

Le cas des bâtiments se trouvant à Genève présentent, pour autant qu'aucune transformation structurelle majeure n'ait été réalisée (pouvant péjorer fortement la vulnérabilité sismique du bâtiment), un meilleur comportement sismique que le bâtiment de l'étude de cas 06 avec une rangée de garages au niveau du terrain.

Dans la situation du bâtiment de l'étude de cas 06, une rénovation par l'ajout de murs stabilisateurs sur un ou plusieurs côtés du bâtiment est tout à fait souhaitable et favorable d'un point de vue parasismique. A noter qu'il faut encore porter une attention particulière à:

- la symétrie de l'ensemble des éléments stabilisateurs (après transformation) au séisme;
- la connexion des dalles entre l'existant et le neuf;
- construire la partie neuve avec des matériaux présentant des caractéristiques mécaniques compatibles avec celles des matériaux de la structure existante.

Les bâtiments non résidentiels construits dans les années 1970 présentent souvent une vulnérabilité sismique élevée, en particulier dû à l'utilisation plus importante de colonnes

que de murs stabilisateurs (continus sur la hauteur) comme éléments porteurs. En outre, les murs porteurs que l'on peut retrouver dans ce type de bâtiments sont souvent discontinus sur la hauteur, ce qui n'assure absolument pas un bon comportement sismique.

Bâtiments résidentiels construits dans les années 1980: le bâtiment traité dans le cadre de cette étude, qui a été construit en 1980, présente, sur la base de l'application de la méthode «Quick assessment», une sécurité sismique suffisante. Au vu de la grande variété des constructions réalisées dès les années 1975, en tous cas du point de vue structurel, il est impossible d'en tirer des généralités pour les bâtiments réalisés dans ces années-là. On constate, pour tous les bâtiments traités, une évaluation de la vulnérabilité sismique plus favorable avec la méthode «Quick assessment» qu'avec une analyse approfondie de l'objet à l'aide du modélisation numérique (MSR). A priori, on peut notamment expliquer ce constat ainsi:

- d'une part, l'analyse approfondie se focalise sur le comportement de l'objet et n'est pas issue de valeurs statistiques. En outre, la MSR est une méthode d'évaluation dites «en force», qui se base sur la résistance des éléments et prend une valeur forfaitaire pour considérer leur ductilité ;
- d'autre part, la méthode «Quick assessment» a été calibrée sur la base des résultats de plusieurs dizaines de bâtiments traités avec une méthode d'évaluation se basant sur la capacité de déformation (approchée) des éléments stabilisateurs sismiques. Dans la majorité des cas, on constate que ce type de méthode (par rapport aux méthodes «dites en force») permet de mieux approcher le comportement réel d'une structure, démontrant souvent que les structures ont une sécurité sismique plus élevée (se traduisant par un facteur de conformité plus élevé) que ce que l'application de la MSR laisserait penser.

CONCLUSION

Le projet eREN2 a analysé le potentiel réel de densification des principaux types d'immeubles sous un regard global en montrant les possibilités et limites d'une rénovation énergétique de l'enveloppe avec densification en comparaison avec un assainissement énergétique seul.

Les radars ci-dessus confirment que les types d'immeubles qui se prêtent le mieux à une combinaison de rénovation énergétique et de densification sont ceux des années 50 à 80, situés en périphérie, construits sur 3 à 5 niveaux.



CONTRAINTES URBANISTIQUES

L'étude eREN2 a permis de constater que mener à bien un projet de rénovation énergétique couplé à une densification n'est souvent pas possible du point de vue des gabarits réglementaires (gabarits sur lesquels il est par ailleurs très difficile de déroger). Seule l'étude de cas 05 avec une fermeture de balcons qui n'implique aucune modification volumétrique passerait le cap de la réglementation. Un travail conséquent est à mener au niveau des cadres réglementaires locaux pour les aligner sur les objectifs de densification des centres urbains voulus par la LAT.

OPTIMISATION ÉNERGÉTIQUE

Le projet a démontré que la densification permet d'améliorer l'efficacité énergétique par rapport à un assainissement simple. Même si l'amélioration n'est pas spectaculaire, elle a tout son sens dans la perspective de la transition énergétique. Il a aussi permis de faire émerger que dans certains cas compenser un bilan thermique global n'atteignant pas les exigences légales de la SIA 380/1 éd 2009 pour la partie transformée avec l'excédent d'un bon bilan thermique global de la partie neuve permettrait de réduire les coûts et la complexité constructive de l'intervention ou son impact patrimonial, tout en atteignant une consommation d'énergie pondérée conforme aux objectifs de la norme. Ces avantages pourraient inciter des propriétaires à se lancer dans un projet de rénovation - densification. La norme ne prévoit pas la possibilité de compenser. Certains cantons l'acceptent au travers de leurs pratiques administratives et d'autres non. Une harmonisation des pratiques basée sur le bon sens serait bienvenue.

OPTIMISATION ÉCONOMIQUE

Les calculs de rentabilité ont montré qu'actuellement la solution la plus intéressante, d'un point de vue strictement économique et selon les modes de calculs en usage dans les milieux immobiliers, est de se limiter à l'entretien du bâtiment. On en peut donc pas parler de synergies financières entre rénovation énergétique et densification. Mais la situation peut évoluer. Une détente dans le marché immobilier, une sensibilité accrue des locataires aux questions environnementales, une attractivité plus importante des centres urbains chez les jeunes pourraient encourager les propriétaires à créer de nouveaux logements en ville et à améliorer le standing et l'efficacité énergétique de leurs immeubles. Ces conditions favoriseraient clairement les projets de rénovation – densification. La sensibilisation des propriétaires à l'état, à la performance et au potentiel de leurs immeubles pourrait aussi constituer une piste pour les amener à ne plus prendre en considération le seul compte d'exploitation du bâtiment.

MISE AUX NORMES – OBSTACLE OU SYNERGIE

Les bâtiments existants ne correspondent que très rarement aux différentes normes en vigueur. Par contre il bénéficie de la garantie de la situation acquise et à quelques exceptions près, on ne peut pas, selon la législation actuelle, imposer une rénovation lorsque le propriétaire n'envisage pas de travaux, sauf s'il existe des motifs de police particulièrement importants, tels que celui de la santé et de la sécurité. Par contre, lorsque des travaux sont annoncés, il est clair que les nouvelles parties doivent répondre aux normes en vigueur, mais la situation est plus floue pour les parties existantes. Les cas dans lesquels le propriétaire à l'obligation d'assainir son bâtiment doivent répondre à l'exigence d'un intérêt public (la plupart du temps la santé ou la sécurité) et respecter le principe de la proportionnalité. Dans certains cas où le bon sens domine et des synergies apparaissent, un projet de rénovation densification est l'occasion d'une mise aux normes «en douceur», pour le bénéfice de tous (un projet de densification durable identifie les synergies possibles et profite d'améliorer le bâtiment pour le futur). Dans d'autres, un trop grand flou au début du projet sur les exigences réelles en matière de mise aux normes et des exigences aux répercussions constructives et économiques élevées peuvent paraître des obstacles insurmontables et tuer un projet dans l'œuf.

COMPLEXITÉ DU PROCESSUS

Le projet a été mené par une équipe pluridisciplinaire d'architectes, d'ingénieurs, de thermiciens. Dans la réalité il aurait impliqué encore plus de personnes et disciplines. La complexité d'une intervention sur l'existant avec ses avantages (droits acquis, économie d'énergie grise) et inconvénients (inconnues, raccords constructifs complexes, limitations structurelles, vétusté irrégulière, etc.) et la pondération optimale des objectifs en jeu imposent un dialogue précoce entre les différents intervenants et un travail par itérations. Le développement d'un projet adapté au bâtiment impose un consensus entre les intervenants (propriétaire, planificateurs, unités administratives concernées) qui, dans ce sens, doivent bénéficier d'une «marge de manœuvre». Il est donc essentiel que ces projets soient traités selon une approche globale par des professionnels qualifiés et sensibilisés aux problématiques des autres intervenants. Ce processus qu'on aurait tort de négliger a un coût, prend du temps et passe trop souvent pour superflu aux yeux des propriétaires.

PARADOXES DE LA SOBRIÉTÉ

Un des paradoxes de notre temps est que d'une part la grande majorité s'accorde pour dire que nous devons aller vers une transition écologique dont dépendront les conditions de vie futures de l'espèce humaine et d'autre part nous n'avons jamais autant consommé, en particulier d'espace et d'énergie. Les normes qui donnent des objectifs et mesurent les résultats ne contribuent pas à résoudre ce paradoxe. Prendre le problème sous l'angle de l'énergie consommée par mètre carré de surface de logement ne nous permet pas de maîtriser la consommation par habitant : un habitant seul dans 120 m² à 100 MJ/m² consommera autant (individuellement) que cinq personnes habitant sur la même surface à 500 MJ/m². Le projet eREN2 a été confronté à ce paradoxe. En tentant de produire des projets conformes aux attentes du marché, il existe le risque de créer plus de mètres carrés pour le même nombre de personnes, soit un gaspillage de ressources et d'énergie contraire aux intentions de base (*études de cas 05, 07 et en partie 01*). Rien au niveau de la législation ou des habitudes ne va à l'encontre de ce scénario. Une densification optimum consisterait à mettre plus de monde dans les surfaces déjà existantes. Mais ce scénario-là va à contre-courant de notre logique économique, sociétale et psychologique et de ce que l'on entend par progrès. Un enjeu crucial sera de gérer ce paradoxe et de dégager des compromis acceptables tant du point de vue de la durabilité que de celui des individus soucieux de leur confort.

CHECK-LIST

CHECK-LIST POUR L'ÉVALUATION DU POTENTIEL DU BÂTIMENT EXISTANT (LISTE NON-EXHAUSTIVE)

CADRE LÉGAL

Cadre légal civil et foncier rural

- ☐ limites de propriété (plan cadastre et registre foncier)

Cadre légal urbanistique

- ☐ conformité du bâtiment à la réglementation urbanistique (loi et règlement cantonaux sur les constructions, règlement communal d'urbanisme): zone de construction, indice d'utilisation et d'occupation, gabarit, hauteur, distance limites de construction, etc.)

Conformité à la protection incendie (directives de protection incendie AEAI)

- ☐ distance de sécurité incendie entre bâtiments
- ☐ résistance au feu de la couche extérieure
- ☐ hauteur du bâtiment – «catégorie» en fonction de la géométrie

Protection patrimoniale

- ☐ recensement (inventaire)
- ☐ inventaires des sites construits en Suisse (ISOS)
- ☐ catégorie de protection (RCU, PAL)
- ☐ éléments architecturaux ou constructifs protégés (loi sur la protection de la nature et du paysage (LPN) et lois et règlements cantonaux sur la protection du patrimoine culturel et naturel)

Conformité de l'accès aux personnes à mobilité réduite (LHand, OHand, Loi et règlement cantonaux sur les constructions, SIA 500, recommandations du BPA)

- ☐ nombre de logements
- ☐ ascenseur, dimension d'ascenseur, largeur de porte et palier
- ☐ seuils, marches pour l'accès au bâtiment

Protection contre le bruit (OPB)

- ☐ caractéristiques de la zone (I zone de détente, II zone résidentielle, III zone mixte, IV industrielle)
- ☐ valeur limite d'immission (conformité aux VLI)

Protection de l'air (Opair)

- ☐ hauteur de la cheminée sur toit (conformité selon recommandation OFEV – hauteur minimale des cheminées sur toit)

Dangers pour la santé

- ☐ présence de substances dangereuses (amiante, PCB et autres polluants selon les diagnostics établis)
- ☐ protection contre le radon (ordonnance contre la radioprotection ORaP): cartes des risques, mesures de concentration, valeurs limites et directrices, recommandations

Protection contre les dangers naturels

- ☐ protection contre les éboulements, les glissements cartes de dangers
- ☐ protection contre les séismes
- ☐ protection contre la neige, les tempêtes dimensionnement (SIA 261)
- ☐ protection contre les crues, pluies et ruissellement de surface carte de dangers

ARCHITECTURE ET USAGE

Implantation dans le bâti

- ☐ bâtiment isolé, mitoyen, en tête d'îlot (place sur la parcelle)
- ☐ orientation du bâtiment
- ☐ environnement bâti proche (gabarit des bâtiments voisins)

Éléments architecturaux caractéristiques

- ☐ volonté de changer l'image du bâtiment ou non

Logements et surfaces

- ☐ surfaces des espaces extérieurs des logements
- ☐ surfaces des pièces (ordonnance 843.142.3 concernant la surface nette habitable, critères SEL2015)
- ☐ nombre de logements selon le nombre de pièces
- ☐ variété de grandeur des logements (ordonnance 843.142.3 concernant la surface nette habitable, critères SEL2015)

Occupation des combles et réserve d'espaces sans affectation

- ☐ affectation des combles
- ☐ hauteur des combles
- ☐ élément de charpente
- ☐ présence d'installation technique dans les combles

Organisation spatiale des logements

- ☐ cuisine indépendante, chambre en enfilade, etc.

Vétusté des éléments d'aménagement

- ☐ cuisines, sanitaires, revêtements, etc.

Apport de lumière naturelle

- ☐ taille des ouvertures
- ☐ apport de lumière naturelle dans les locaux, profondeur des pièces existantes (règlements cantonaux, indice d'ouverture selon recommandations ADEME)

État locatif

- ☐ occupation des appartements (nuisances pour les usagers)

EFFICIENCE ÉNERGÉTIQUE

- ☐ bilan thermique de l'existant
- ☐ consommations réelles
- ☐ composition et valeur U des éléments de l'enveloppe
- ☐ relevé des détails constructifs des raccords
- ☐ identification des ponts thermiques existants

ÉCONOMIE

- ☐ liste des travaux d'entretien et de transformation effectués (montants et dates)
- ☐ état locatif, loyers
- ☐ analyse de la population des occupants – âge, condition sociale
- ☐ loyers du marché (offre selon le type de logement, taux de vacance)

CONSTRUCTION ET TECHNIQUE

Éléments de l'enveloppe

- ☐ vétusté de la toiture
- ☐ vétusté des façades
- ☐ vétusté des fenêtres
- ☐ vétusté des espaces extérieurs

Vérifier le système porteur

- ☐ système structurel, descente des charges
- ☐ capacité portante de la structure existante
- ☐ type de charpente

Sécurité sismique

- ☐ conformité aux exigences sismiques *[voir méthodologie chapitre 10]*

Conformité aux directives de protection incendie (AEAI)

- ☐ catégorie du bâtiment (hauteur)
- ☐ compartimentage coupe-feu (conformité AEAi)
- ☐ voies d'évacuation (conformité AEAi)
- ☐ équipement de protection incendie (conformité AEAi – dispositifs d'extinction)
- ☐ accès pour les sapeurs-pompiers (conformité AEAi)
- ☐ installation technique des bâtiments – installation de transport, installation thermique (chaufferie), entreposage de combustible, installations aérauliques (canaux de ventilation), système de désenfumage (conformité AEAi)
- ☐ exigences spéciales pour affections et locaux particuliers – parking (conformité AEAi)

Dispositifs contre la chute

- ☐ hauteur et largeur des garde-corps
- ☐ espacements des barreaux, verre de sécurité (balcons, balustrades, etc.)
- ☐ hauteur des contrecœurs

Accès, distribution

- ☐ circulations verticales, escaliers (possibilité de prolongation)
- ☐ circulations verticales, ascenseurs (possibilité de prolongation ou d'ajout d'ascenseur)
- ☐ contrôle technique de l'ascenseur

Système de ventilation et aération des locaux

- ☐ ventilation naturelle ou mécanique des espaces
- ☐ ventilation des sanitaires et des cuisines
- ☐ ventilation des locaux techniques

Protection contre le bruit

- ☐ affectation des locaux
- ☐ isolation phonique des murs et des dalles entre logements

Vérifier les raccordements des installations techniques

- ☐ raccordements aux réseaux d'alimentation (eau potable, électricité, TT, gaz, CAD, etc.) et évacuation (système d'évacuation séparatif, eaux claires, eaux usées, eaux pluviales)
- ☐ raccordements techniques au chauffage, ventilation, sanitaires, électricité
- ☐ conformité des gaines existantes
- ☐ possibilités d'utiliser des gaines techniques existantes ou de créer des nouvelles
- ☐ état de vétusté des installations techniques existantes

Vérifier les possibilités d'intégration des énergies renouvelables

- ☐ installation de production de chaleur (possibilité de raccordement, règlements)
- ☐ locaux disponibles pour le stockage de combustibles
- ☐ surfaces disponibles pour installation de panneaux solaires (orientation)

NOTE SUR LES CALCULS D'ACTUALISATION

La pertinence économique de trois options (entretien courant, rénovation, rénovation+extension de la surface locative) pour chacun des bâtiments a été estimée par un calcul d'actualisation des flux futurs.

Ce calcul, discounted cash flow en anglais (DCF), est aujourd'hui la méthode la plus utilisée pour l'estimation immobilière. Elle consiste à poser des hypothèses concernant les sorties d'argent pour l'exploitation, l'entretien et la rénovation de l'immeuble, les entrées d'argent (loyers), et à décider d'un taux d'actualisation, correspondant au rendement exigé. On actualise les flux au taux choisi sur une certaine durée pour obtenir une valeur actuelle pour chacune des options d'investissement, permettant de les comparer.

Les paramètres ces calculs sont les suivants :

Période considérée: 100 ans

Taux d'actualisation: 4.87% (rendement moyen des fondations immobilière en Suisse entre 1995 et 2016²¹)

Revenus (loyers): les loyers réels n'étant pas disponibles, un état locatif existant a été défini en multipliant la surface locative par un prix au m² issu de recherches sur des appartements en location dans des situations similaires et sur les données fournies par les offices cantonaux et fédéraux de la statistique. Les loyers des appartements existants après travaux ont été recalculés sur la base de l'OBFL qui permet de répercuter 100% du coût des travaux à plus-value énergétique sur les loyers, pour autant qu'il excède les coûts de maintien en l'état initial. Les travaux prévus dans eREN2 comprenant également le remplacement de certains éléments vétustes, il a été décidé de calculer la hausse des loyers sur 60% de la valeur totale des travaux. Il n'a pas été tenu compte d'une éventuelle baisse de loyer liée à leur adaptation au taux hypothécaire de référence.

Les loyers des nouveaux appartements ont été arrêtés par comparaison avec des objets similaires proposés en location dans la ville de situation de l'immeuble. Une progression de l'état locatif et un taux de vacance annuels de 1% ont été pris en compte. Une réduction de l'état locatif a été appliquée pour l'année où travaux de rénovation lourde sont entrepris.

Charges: les charges d'exploitation suivantes ont été appliquées: gérance (5% de l'état locatif), assurances, eau, épuration, entretien courant (15.-/m² de surface locative par an). Un taux de croissance annuelle des charges de 1% a été considéré.

Remise en état: une contribution annuelle à un fond de rénovation a été prise en compte pour permettre de procéder régulièrement à des remises en état. Ces travaux sont prévus tous les 10 ans (35.- à 40.- par m²). Le fond est rémunéré à hauteur de 1.62% (taux moyen des obligations à 10 ans de la Confédération entre 2005 et 2014, source OFS) et le taux de croissance des coûts est de 1.37% (indice des prix de construction (bâtiment), variation annuelle moyenne 2000 - 2010²²). Ces travaux ne donnent pas lieu à des augmentation spécifiques des loyers.

Comme indiqué dans le rapport, ni les impacts fiscaux ni les subventions n'ont été prises en compte dans les calculs.

La méthode DCF permet de comparer entre elles des variantes d'investissement mais elle reste très sensible au choix des hypothèses et des paramètres, appliqués sur une longue durée. Il n'en demeure pas moins qu'elle est largement appliquée dans les milieux immobiliers et dans l'optique d'eREN2, qui a pour but de coller aux pratiques actuelles, son utilisation fait sens.

21 Source: SIX – Banque cantonale vaudoise.

22 Source: OFS, office fédéral de la statistique

Fig. 27 Exemple de calcul de DCF de l'étude de cas 03 avec rénovation et agrandissement.

Calcul de fond de travaux de remise en état.

Travaux (augmenté par tx de cr de coût de travaux)

Attribution fond travaux de remise en état

Solde fond travaux remise en état

Fond de travaux de remise en état

Périodes	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	100
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2117
Etat Locatif	424 310	339 448	549 637	555 134	560 685	566 292	571 955	577 674	583 451	589 285	595 178	1 457 373
Vacances/Impayées	4 243	3 394	5 496	5 551	5 607	5 663	5 720	5 777	5 835	5 893	5 952	14 574
Produit Locatif	420 067	336 054	544 141	549 582	555 078	560 629	566 235	571 897	577 616	583 393	589 227	1 442 799
Gérance	21 216	16 972	27 482	27 757	28 034	28 315	28 598	28 884	29 173	29 464	29 759	72 869
Charges	8 610	8 610	9 505	9 600	9 696	9 793	9 891	9 990	10 090	10 191	10 293	25 203
Entretien Courant	17 240	17 240	19 010	19 270	19 534	19 802	20 073	20 348	20 627	20 910	21 196	72 129
Total Charges	47 066	42 822	55 997	56 627	57 265	57 910	58 562	59 222	59 889	60 565	61 248	170 200
Travaux		4 606 000										
Attribution fond travaux remise en état		8 470	8 470	8 470	8 470	8 470	8 470	8 470	8 470	8 470	8 470	8 470
Marge opérationnelle	373 002	-4 321 239	479 674	484 485	489 343	494 249	499 203	504 205	509 257	514 358	519 508	1 264 129
Flux des Cash Flows	10 364 111	-4 321 239	479 674	484 485	489 343	494 249	499 203	504 205	509 257	514 358	519 508	1 264 129
Prix Equivalent (VA)	7 409 250	12 091 319	12 200 493	12 310 172	12 420 335	12 530 956	12 642 011	12 753 472	12 865 309	12 977 492	13 089 988	

MÉTHODOLOGIE «QUICK ASSESSMENT»

La méthodologie présentée dans ce chapitre a été développée à la HEIA pour permettre une évaluation grossière, mais rapide, de la vulnérabilité sismique d'un bâtiment avec refends en béton armé. Cette méthodologie peut être également applicable aux bâtiments stabilisés par des murs en maçonnerie (valeur obtenue plus approximative).

Le concept de base est de calculer, sur la base de plusieurs paramètres présentés ci-après, la valeur d'un coefficient (v) donnant une indication sur la vulnérabilité sismique d'un bâtiment. Le calcul du coefficient v proposé est validé par une série d'ouvrages réels, existants ou neufs et la relation établie entre ce coefficient v et le facteur de conformité est :

$$v = 4.3 \cdot \alpha_{\text{eff}}^{0.7} - 5.5$$

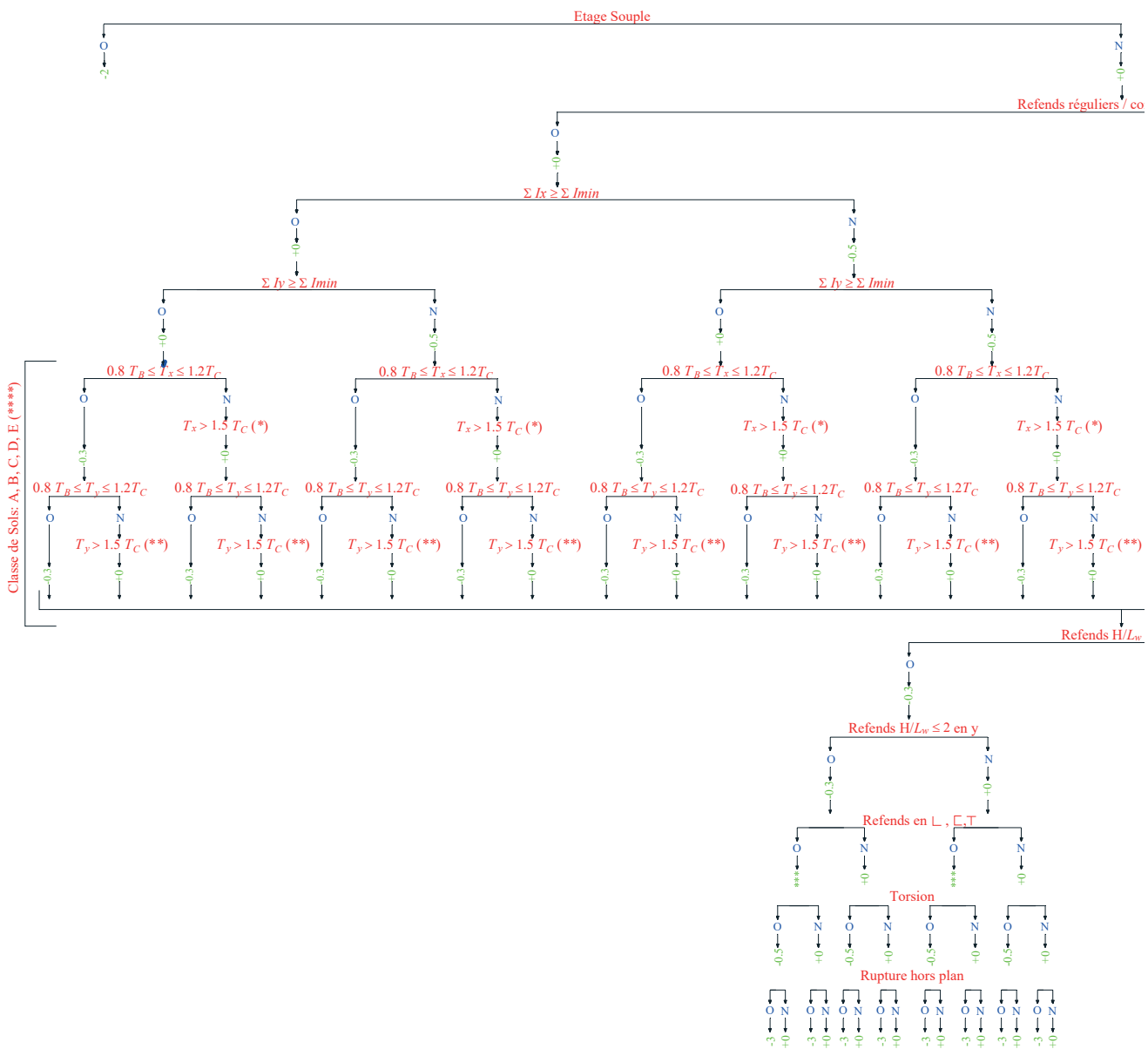
Dès lors:

- $-1.2 < v < 0$: Bâtiment faiblement vulnérable sismiquement;
- $v < -1.2$: Bâtiment vulnérable sismiquement;
- $v < -3.9$: Bâtiment très vulnérable sismiquement (valeur limite correspondant à $\alpha_{\text{min,COI}} = 0.25$).

Le coefficient global v , qui représente la vulnérabilité des bâtiments aux tremblements de terre, est obtenu en sommant tous les coefficients partiels v_i issus du diagramme [voir figure 28]. Les coefficients v_i correspondent à neuf paramètres sélectionnés pouvant influencer considérablement le comportement sismique des bâtiments, à savoir:

- étage souple: on parle d'étage souple quand un étage du bâtiment (le rez-de-chaussée est un cas fréquent) ne possède pas de stabilisation latérale régulière et suffisante. En Suisse, on peut retrouver des bâtiments ayant un étage souple dans les centres urbains ; la structure de ceux-ci, généralement anciens, a en effet souvent été modifiée (destruction de murs porteurs) afin de créer de larges espaces commerciaux au niveau du rez-de-chaussée.
- refends réguliers/ continus verticalement: le bâtiment est considéré comme régulier verticalement quand tous les éléments porteurs sont continus sur toute la hauteur du bâtiment. La discontinuité de la stabilisation latérale est très défavorable au comportement sismique.
- inertie totale suffisante pour les refends: le coefficient v_i tenant compte de ce paramètre, soit une inertie suffisante dans les deux directions orthogonales du bâtiment, est basé sur un abaque (I) élaboré en Suisse pour la zone Z3b. Il indique l'inertie totale des refends à prévoir dans chaque direction principale en fonction du nombre d'étages et de la surface d'étage à stabiliser. Les courbes ont été calculées pour des charges d'étage comprises entre 10 et 12 kN/m² et une hauteur d'étage entre 2.5 et 3.5 m. Par ailleurs, elles sont valables pour la classe d'ouvrage COI et une classe de sol de fondation C. Pour la classe d'ouvrage COII, on peut multiplier la valeur extraite de l'abaque par celle du facteur d'importance correspondant. Des coefficients correcteurs (z et b) permettent de considérer d'autres zones et d'autres classes de sol de fondation.
- amplitude de l'accélération spectrale: deux segments sont considérés : le premier comprend « le plateau » du spectre de réponse, donc la valeur maximale de l'accélération spectrale, pour lequel le paramètre v_i vaut -0.3; le deuxième segment comprend les périodes fondamentales de plus de $T > 1.5 T_c$ (bâtiments souples), pour lequel le paramètre v_i vaut 0.
- disposition régulière des murs dans le plan: d'une manière générale, les éléments de contreventement doivent être disposés de façon à conférer à la construction le meilleur comportement possible à la torsion. Il faut donc tendre vers un arrangement aussi symétrique que possible. Une excentricité entre le centre de masse et le centre de cisaillement ajoute des sollicitations de torsion aux efforts horizontaux. La torsion amplifie les déformations subies par les éléments de la construction. En cas de disposition asymétrique des éléments de stabilisation latérale, le centre de rigidité ne coïncide pas avec le centre de masse et le phénomène de torsion apparaît naturellement.
- refends en L, C, ou T : il faut relever le cas fréquent où le noyau et les cages d'escaliers ne forment pas une section fermée, mais plutôt une section ouverte en forme de C, L ou T. Ces sections, en particulier en L ou en T, présentent néanmoins une ductilité généralement faible en flexion (forte pénétration de l'axe neutre).
- élancement des éléments porteurs: plus l'élancement des refends est faible, plus leur comportement réel s'approche de celui d'un mur trapu (loi de Bernoulli-Navier plus valable) et moins leur comportement sera favorable d'un point de vue sismique.
- date de construction et ductilité des aciers dans les armatures : les propriétés mécaniques de l'acier d'armature passive, en particulier la ductilité et la résistance à la traction (compression) ont beaucoup évolué depuis le début du XX^e siècle. Par conséquent, la date de construction constitue un paramètre important pour évaluer la vulnérabilité des bâtiments aux séismes.
- rupture hors plan: le rôle des diaphragmes est, entre autres, de transmettre les charges horizontales aux éléments verticaux de contreventement et de stabiliser les refends hors de leur plan. Par conséquent, le diaphragme doit être, dans son plan, plus rigide que les éléments verticaux de la stabilisation et, évidemment, une bonne liaison doit être assurée entre eux.

Afin d'obtenir une indication de la vulnérabilité sismique d'un bâtiment, l'utilisateur est appelé à suivre la démarche présentée ci-après [voir figure 28].



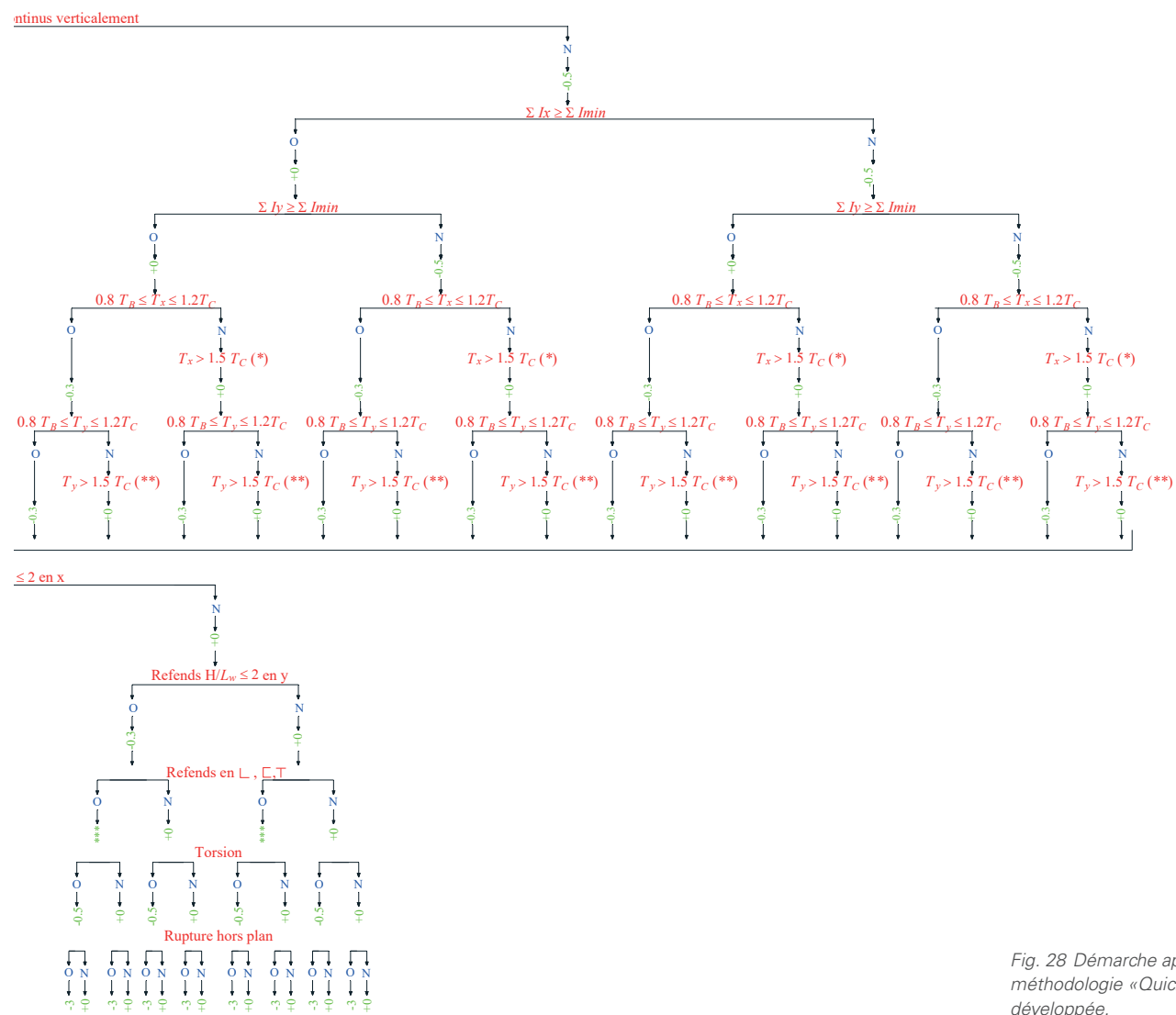


Fig. 28 Démarche applicative de la méthodologie «Quick assessment» développée.

ÉTAT DE L'ART

La question de rénovation énergétique des bâtiments est une thématique largement traitée. Sous l'impulsion du monde politique et économique, les programmes d'encouragement tous azimuts se sont multipliés ces dernières années et plusieurs projets de recherche ont été menés sur la rénovation énergétique de l'enveloppe et sur les questions de densification.

L'OFEN propose des guides de rénovation pour les immeubles d'habitation [1] [2], mais en négligeant les spécificités des différentes typologies de bâtiments, qui peuvent conduire à des performances finales en dessous des objectifs et une perte de valeur au niveau du tissu urbain. Comme le démontrent les résultats du projet eREN, la stratégie de rénovation énergétique est étroitement liée à la typologie du bâtiment et la rénovation énergétique doit être prise dans son ensemble pour obtenir un bilan énergétique globalement favorable.

Les projets de recherche SurHib- Sustainable renovation of Historical Buildings de l'ETHZ [3] et les projets européens E2Rebuild - Industrialised energy efficient retrofitting of resident buildings in cold climates [4] et RIBuild mettent l'accent sur le patrimoine européen avant 1920 et approfondissent la problématique de l'isolation intérieure dans les bâtiments protégés. Plusieurs études spécifiques visent à exploiter de façon rationnelle et optimisée les enveloppes rapportées en ossature bois préfabriqué (projet CCEM-Retrofit de l'Agence internationale de l'énergie [5] [6], projet COCCUM du Pôle scientifique et technologique du canton de Fribourg [7]). L'étude Smart Density, rénover et densifier avec le bois menée par LIGNUM en collaboration avec la Haute école de Lucerne traite en particulier les rénovations énergétiques et les surélévations en bois en mettant l'accent sur les avantages des solutions bois [8] [9] [10]. Le centre de compétence CCTP de la Haute école de Lucerne travaille sur les stratégies de densification à l'échelle urbanistique du macrocontexte jusqu'à l'objet (Leitfaden «Siedlungsentwicklung nach innen durch Dialog und Kooperation – Bausteine und Prozess», Mikroinvasive Strategien zur Verdichtung) [11] [12] et sur les stratégies de rénovation globale à l'échelle du lotissement [13]. Les méthodes MERIP ou EPIQR+ permettent d'évaluer les dégradations et d'estimer les coûts de remise en état des immeubles d'habitation [14] [15].

Un mandat d'étude des causes de la sous-utilisation des réserves de potentiel à bâtir existantes à l'intérieur des gabarits actuels de la Ville de Genève a été confié à l'Atelier Bonnet Architectes par le Service d'urbanisme de la Ville de Genève. L'étude, basée sur un questionnaire auprès de divers acteurs Immobiliers (administrations, régisseurs, experts immobiliers, promoteurs, propriétaires, architectes et ingénieurs) relève les principaux freins aux surélévations (Elever la ville, Avenir Suisse 2010 [16]).

Un travail de master de l'EPFL classe des exemples d'adaptation de logements extraits de quatre revues suisses (Archithèse, Hochparterre, Tec21 et Werk, Bauen + Wohnen) selon deux périodes de construction (1950-1980 et 1910-1950) et trois types d'intervention (modifications intérieures, modifications extérieures, adjonction de nouveaux volumes). L'étude classe les interventions et permet de quantifier les interventions, mais ne propose aucune évaluation des interventions. («Adaptation des logements du second après-guerre aux besoins du XXI^e siècle.» [17]). Un second travail recense des exemples pertinents de surélévation puis propose une classification selon leur morphologie et leur prise de position architecturale. («La surélévation» [18]).

Au travers du cahier technique SIA 2047, éd. 2015 – «Rénovation énergétique des bâtiments» [19], il existe une méthode pour trouver la meilleure stratégie possible pour la rénovation énergétique des bâtiments. Ce cahier est complété par une publication de la SIA éd. 2017 «Rénovation énergétique des bâtiments – documentation relative au cahier technique SIA 2047» [20] illustrant des exemples.

En Suisse il n'existe à notre connaissance aucun outil de diagnostic et d'aide à la décision qui tient compte des spécificités architecturales et constructives des différentes typologies d'immeubles d'habitation et qui compare des scénarios de rénovations énergétiques sous un regard global. Ce constat est corroboré par les informations que nous avons de plusieurs propriétaires et gestionnaires de parc immobiliers et des Services de l'énergie en Suisse romande. Le projet eREN2 se focalise sur les caractéristiques architecturales et constructives des bâtiments typiques et leur potentiel spécifique de densification. Il étudie le potentiel d'optimisation énergétique et économique et constitue un cadre de référence pour les propriétaires et les professionnels.

[1] à [20] Voir bibliographie page 51.

BIBLIOGRAPHIE

1. PIKALI, Jules, Rénovation énergétiquement correcte des immeubles locatifs, Berne: Office fédérale de l'énergie, EnDK, EnergieSuisse 2014.
2. SCHÜRCH, Peter, SCHNELL, Dieter, Rénovation - la construction complémentaire durable, Zurich: EnDK, Faktor Verlag, 2011.
3. CARMELIET, Jan, ZIMMERMANN, Mark, SuRHiB - Sustainable Rénovation of Historical Building, ETHZ en collaboration avec l'AHB, l'EMPA et la SUPSI, annuel rapport 2011.
4. TROI, Alexandra, BASTIAN, Zeno, Energy solutions for historic buildings – A Handbook: EURAC research, Passive House Institute, Birkhäuser Basel 2015.
5. SCHWEHR, Peter, FISCHER, Building typology and morphology of Swiss multi-family homes 1919-1990, Haute école d'ingénierie et d'architecture de Lucerne (HSLU), 2010.
6. EMPA, Prefabricated Systems for Low energy Renovation of residential Buildings, Retrofit simulation report, International Energy Agency ECBCS Annex 50, 2011.
7. LUTZ, Conrad, COCCUM - l'enveloppe pour l'assainissement thermique et architectural des bâtiments, Pôle scientifique et technologique du canton de Fribourg, 2010.
8. LIGNUM, SMART Density, rénover et densifier avec le bois, Lignatec 29, Zurich 2014.
9. MOOSER, Markus, MERIGAUX, Lucie, PFLUG, Denis, HORSCH, Bettina, Bois et réhabilitation de l'enveloppe: rénover, isoler, optimiser, Lausanne: Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 2014.
10. MOOSER, Markus, FORESTIER, Marc, PITTET-BASCHUNG, Mélanie, Surélévations en bois: densifier, assainir, isoler, Lausanne: Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 2011.
11. STURM, Ulrike, SCHWEHR, Peter, Leitfaden Erneuerung und Verdichtung, Hochschule Luzern, 2014
12. STURM, Ulrike, SCHWEHR, Peter, Mikroinvasive Strategien zur Verdichtung, Hochschule Luzern, 2013-15
13. EHRBAR, Doris, SCHWEHR, Peter, SANSTRAT – Argumentarium Sanierung, Faktor Verlag, Zürich, 2013.
14. PIBAT, Diagnostic sommaire MERIP, Evaluation des dégradations et estimations du coût de remise en état des immeubles, 1993.
15. DRUSCHE, Volker, Energie – optimiert planen, bauen und sanieren, Synergie nutzen, Kosten sparen, Ressourcen schonen, Berlin : Huss-Medien, 2010.
16. BONNET, Pierre, «La ville sous-exploitée», Elever la ville, Avenir Suisse, Ecublens, 2010.
17. MORI, Isabelle, BOURQUIN, Marie-Laure, Adaptation des logements du second après-guerre aux besoins du XXI^e siècle, EPFL Architecture, janvier 2011.
18. WESTHOFF, Carole, La surélévation: définition d'une problématique, EPFL ENAC architecture, janvier 2013.
19. Rénovation énergétique des bâtiments – cahier technique SIA 2047, SIA, Zürich, 2015
20. Rénovation énergétique des bâtiments – documentation relative au cahier technique SIA 2047, SIA, Zürich, 2017

CRÉDIT PHOTOGRAPHIQUE

Photo de couverture © Philippe Ruault
Lacaton & Vassal, Cité du Grand Parc, Bordeaux, France.

REMERCIEMENTS

 ETAT DE FRIBOURG
STAAT FREIBURG

Service de l'énergie SdE
Amt für Energie AfE
WWW.FR.CH/SDE

Hes·SO
Haute Ecole Spécialisée
de Suisse occidentale
Fachhochschule Westschweiz



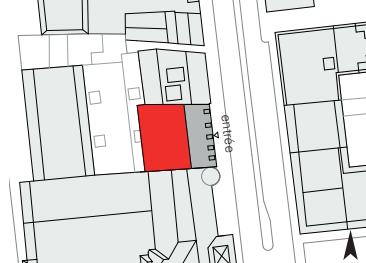
Haute école d'ingénierie et d'architecture Fribourg
Hochschule für Technik und Architektur Freiburg

h e p i a

Haute école du paysage, d'ingénierie
et d'architecture de Genève

ÉTAT EXISTANT

Situé au centre-ville de Genève, le bâtiment rentre actuellement dans le cadre urbanistique des immeubles bourgeois construits au début du XX^e siècle: occupation complète de la parcelle, position en ordre contigu dans la rue, hauteur du bâtiment, toiture en pente abritant des combles habités. L'immeuble offre des appartements de taille variée; du 2 pièces de 52 m² au 4 pièces de 93 m² (y compris cuisine), avec des chambres généralement généreuses (de 14 à 16 m²), des espaces de vie qui correspondent aux besoins des habitants qui y vivent (de 14 à 20 m²). Cependant, les balcons, de par leur profondeur (70 cm) et leur orientation (à l'est en lien avec une rue très fréquentée) sont peu utilisés. L'enveloppe du bâtiment en pierre massive est en très bon état – tout comme la toiture qui a fait l'objet d'une rénovation récente, mais ne répond plus aux exigences énergétiques actuelles. Les fenêtres (d'origine) sont à rénover afin d'augmenter le confort phonique et thermique. L'accessibilité du bâtiment ne correspond pas aux exigences des personnes à mobilité réduite (embranchement dans le hall principal, dimensions de l'ascenseur, dimensions des sanitaires, etc.). Le scénario développé est l'agrandissement par une «couche» chauffée sur la façade ouest ainsi que la surélévation partielle de la toiture côté ouest.



Situation 1: 2'000

0 5 20

Année de construction	1901
Nombre de logements	18
Nombre de commerces	1
Nombre de logements	20
Nombre de commerces	1
Surface plancher utile	
SUP+SEU [m ²]	1'663+52
Surface plancher utile (SUP+SEU) [m ²]	2'019+89
Surface plancher brute (SP+SEP) [m ²]	2'279+54
Surface plancher brute (SP+SEP) [m ²]	2'662+93
Surface référence énergétique (SRE) [m ²]	2'072
Surface référence énergétique (SRE) rénovée [m ²]	2'447
Surface référence énergétique (SRE) surélévation [m ²]	180
Besoins de chauffage (Q _h) [MJ/(m ² an)]	285
Besoins de chauffage (Q _h) rénové [MJ/(m ² an)]	96
Besoins de chauffage (Q _h) surélévation [MJ/(m ² an)]	118

En noir, les données de l'état existant, en rouge les données après transformation.

Évaluation du bâtiment existant

Cadre légal

Urbanistique	●
Distance de sécurité incendie	●
Protection patrimoniale	P

Vétusté de l'enveloppe

Toiture	●
Façade	●
Balcon	●

Obsolescence

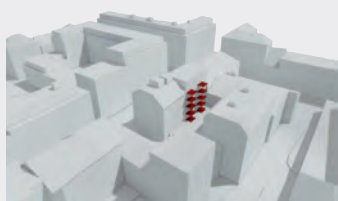
Sécurité incendie	—
Exigences énergétiques	●
Accessibilité aux PMR	●
Dispositif contre la chute	●
Typologique	●
Sécurité sismique	●

● conforme / bon état ● non-conforme / vétuste

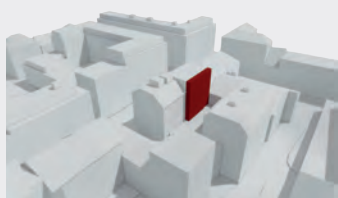
— pas d'information / pas de protection

P protection patrimoniale selon la LCI

Extrait de la façade est.



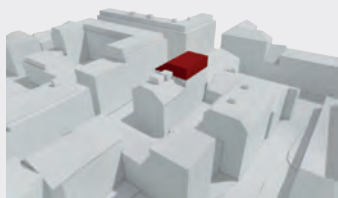
Scénario 01: créer des balcons.



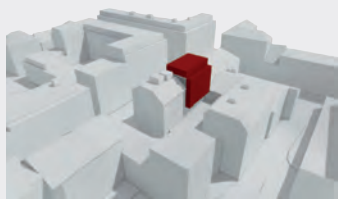
Scénario 02: ajouter une «couche» non chauffée (type jardin d'hiver).



Scénario 03: agrandir la volumétrie en ajoutant des pièces aux appartements existants.



Scénario 06: surélever l'immeuble de 1 étage.



Scénario retenu (D): augmenter le volume côté cour et surélévation.

LES SCÉNARIOS DE DENSIFICATION

Scénario 01 – balcons

- + répond à un besoin d'usage
- diminution de la lumière naturelle
- n'améliore pas la performance énergétique
- difficulté à porter

Scénario 02 – «jardin d'hiver»

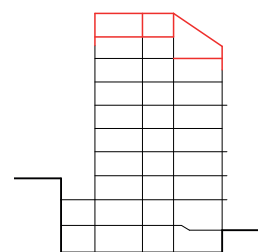
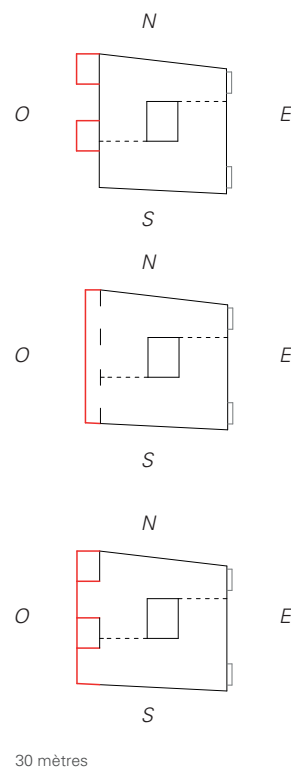
- + amélioration thermique de la façade
- + augmentation de la surface des chambres
- difficulté des appuis sur la toiture plate
- diminution de la lumière naturelle
- ne respecte pas le règlement urbanistique

Scénario 03 – agrandissement horizontal

- + répond à un besoin d'usage
- + amélioration thermique de la façade
- + augmentation de la surface des chambres
- diminution de la lumière naturelle
- difficulté des appuis sur la toiture plate
- modification de la typologie difficile
- ne respecte pas le règlement urbanistique

Scénario 06 – surélévation

- + augmentation du nombre de logements
- + amélioration thermique de la toiture
- ne respecte pas le règlement urbanistique
- sortie des gaines existantes et prolongation de la cage d'escalier et d'ascenseur



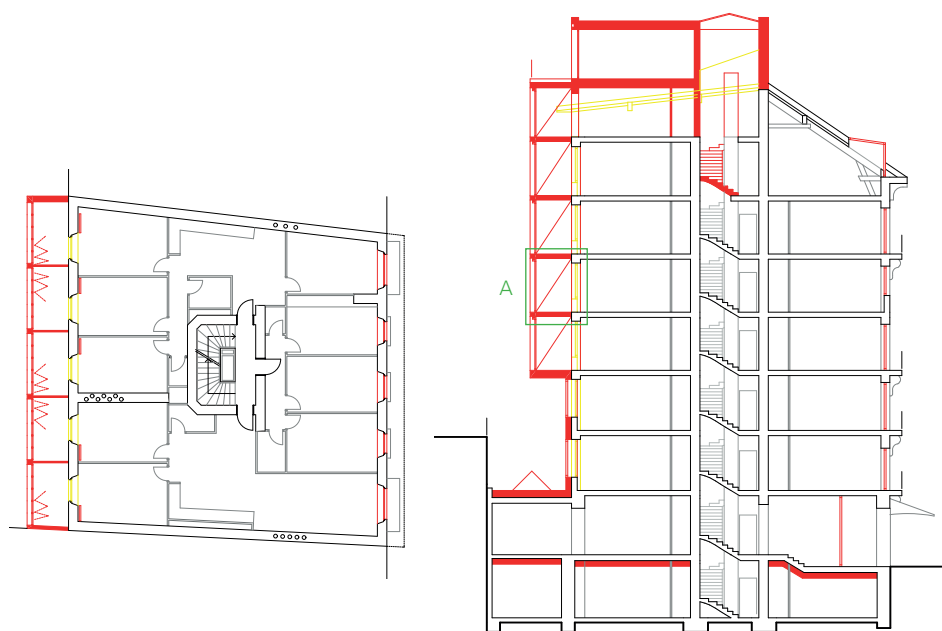
SCÉNARIO RETENU (D)

Le scénario retenu donne une nouvelle image au bâtiment, côté ouest (cour). Il propose l'ajout d'une nouvelle «couche» d'espaces chauffés qui augmentent la surface des chambres et la surface de référence énergétique. Cette couche est suspendue au bâtiment à chaque étage afin d'éviter de devoir s'appuyer sur la toiture plate existante. En toiture, une surélévation du volume côté ouest est également proposée, permettant ainsi la création de deux nouveaux logements. En plus de répondre aux exigences thermiques, le projet permet donc d'offrir des surfaces de logement supplémentaire.

Murs (façade est) : la façade sur rue est maintenue en l'état, les fenêtres en chêne sont doublées d'un sur-cadre qui permet de remplacer le verre simple existant par un verre double.

Murs (façade ouest) : une nouvelle façade vitrée soutenue par une structure métallique est suspendue à la façade existante afin de créer un nouvel espace chauffé entre l'ancienne et la nouvelle façade. Les dalles existantes sont prolongées par des dalles en bois lamellé-collé.

Dalle sur sous-sol et toiture : la toiture en pente (côté est) est maintenue. La nouvelle toiture de la surélévation (côté ouest) est une dalle à caisson en bois isolée. La dalle sur sous-sol est isolée par 300 mm de laine minérale.



Plan (étages 3 à 5) et coupe schématiques. En rouge, les éléments de l'enveloppe isolés ou les nouveaux éléments du scénario et en jaune les éléments démolis.

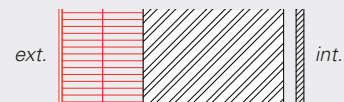
0 1 2 15

Mur ouest (1^{er} et 2^e étages)

U_{mes}: 1.30 W/m²K

U_{cal} existant: 0.93 W/m²K

U_{cal} rénové: 0.12 W/m²K



- . Crépi 10 mm
- . Isolation 260 mm, $\lambda = 0.036$ W/mK
- . Moellons 450-650 mm
- . Lattage de support 40 mm
- . Panneau de bois 25 mm

Mur attique

U_{cal} neuf: 0.15 W/m²K

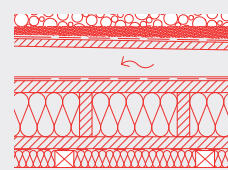


- . Crépi, 10 mm
- . Panneau de support 20 mm, $\lambda = 0.04$ W/mK,
- . Isolation entre lattage bois 100 mm, $\lambda = 0.04$ W/mK,
- . Isolation et structure bois 200 mm, $\lambda = 0.04$ W/mK
- . Panneau OSB 20 mm
- . Pare-vapeur
- . Vide technique 50 mm
- . Panneau plâtre gypse 20 mm

Toiture

U_{cal} existant: 0.50 W/m²K

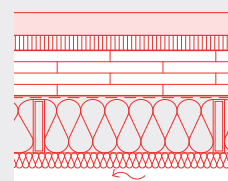
U_{cal} neuf: 0.25 W/m²K



- . Gravier 20 mm
- . Sable 20-50 mm
- . Etanchéité bitumineuse 20 mm
- . Vide ventilé 60-90 mm
- . Sous-couverture
- . Dalle à caissons et isolation 180 mm, $\lambda = 0.04$ W/mK
- . Pare-vapeur
- . Isolation et carrelots 50 mm, $\lambda = 0.04$ W/mK
- . Panneau de plâtre gypse 15 mm

Plancher (extension)

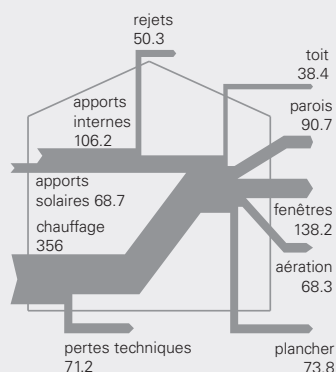
U_{cal} neuf: 0.15 W/m²K



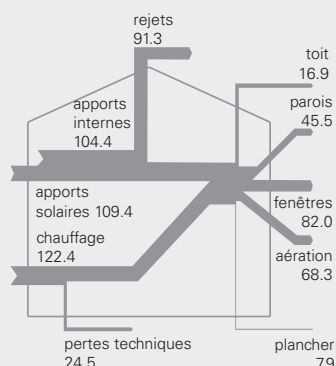
- . Chape ciment 60 mm
- . Isolation phonique 40 mm, $\lambda = 0.036$ W/mK,
- . Dalle bois lamellé-collé, 120 mm
- . Pare-vapeur
- . Isolation entre sous-construction métallique 140 mm, $\lambda = 0.04$ W/mK
- . Isolation entre sous-construction métallique 80 mm, $\lambda = 0.04$ W/mK
- . Plaque fibro-ciment ou métal 5 mm

Détail de l'agrandissement ouest.

0 10 20 50



EXISTANT Diagramme de Sankey en [MJ/m²]. La valeur limite SIA 380/1 est de 112.8 MJ/m² et les besoins chaleur de chauffage (Q_h) sont de 284.8 MJ/m².



SCÉNARIO D (pondéré) Diagramme de Sankey en [MJ/m²]. La valeur limite SIA 380/1 est de 105.5 MJ/m² et les besoins chaleur de chauffage (Q_h) sont de 97.9 MJ/m².

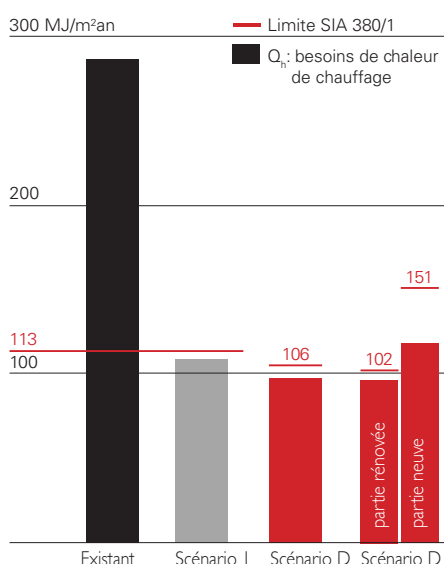
Coût total (T.T.C.):
Scénario 1: 1'155'000 CHF
Scénario D: 3'530'000 CHF

Coût / m² de SP + SEP (T.T.C.):
Scénario 1: 490 CHF
Scénario D: 1'280 CHF

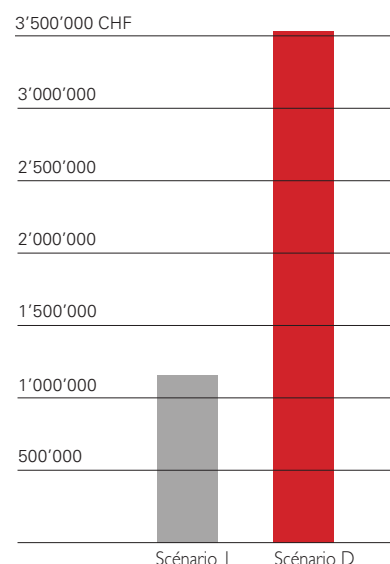
LES GAINS ÉNERGÉTIQUES ET LES COÛTS

Le scénario 1 (eREN): il intègre l'isolation périphérique et le remplacement des fenêtres en façade ouest, le doublage des cadres de fenêtres en façade est et l'ajout d'un verre isolant double, l'isolation sous dalle du rez-de-chaussée et enfin l'assainissement complet de la toiture de la cour et le remplacement des verrières existantes pour permettre d'atteindre la valeur-limite SIA 380/1. Il apporte un gain énergétique de 176.9 MJ/m², soit 62%.

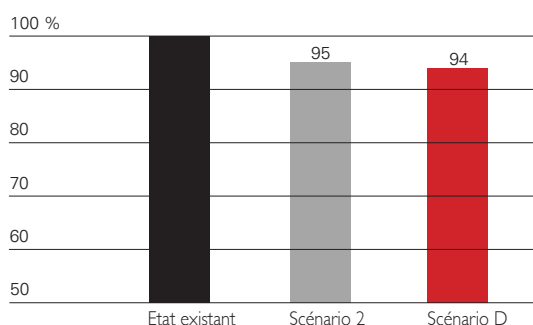
Scénario D (eREN2): il reprend la stratégie du scénario 1 pour ce qui est de la façade est et l'isolation sous dalle du rez-de-chaussée. En façade ouest, les étages 1 et 2 reprennent encore les mesures développées dans le scénario 1. Les étages allant du 3^e au 7^e sont prolongés horizontalement d'un volume chauffé. La toiture côté ouest est également surélevée afin d'offrir un niveau de logement supplémentaire. Avec un besoin de chaleur de 97.9 MJ/m², le scénario atteint la valeur-limite SIA 380/1 de 105.5 MJ/m². Il apporte un gain énergétique de 187 MJ/m², soit une amélioration de 65%.



Graphique des besoins de chaleur (Q_h) de l'état existant et des différents scénarios.



Graphique des coûts financiers de chaque scénario.



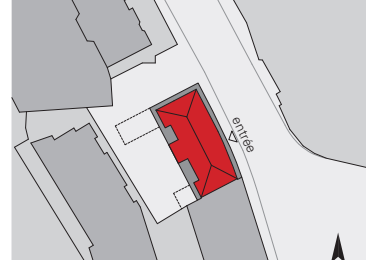
Graphique de rentabilité des scénarios.

CONCLUSION

Le scénario de densification permet une économie d'énergie de 3% supplémentaire par rapport au scénario d'assainissement seul (eREN) et en termes de rentabilité il se situe à un niveau très proche (94 pour la densification contre 100 (base) pour l'assainissement). A ce stade du projet, les incertitudes de chiffrage admissibles rendent les deux variantes très proches tant sur le plan thermique qu'économique. Le scénario de densification a pour avantage incontestable d'offrir de nouvelles surfaces de logement de qualité dans un environnement très demandé, tout en conservant les caractéristiques architecturales remarquables de la façade sur rue. Il présente néanmoins l'inconvénient de nécessiter en valeur absolue un investissement bien plus conséquent que l'assainissement seul.

ÉTAT EXISTANT

Situé en zone urbaine à Lausanne, le bâtiment ne respecte aujourd'hui pas la réglementation urbanistique; ses distances à la limite au sud-ouest et nord-ouest étant inférieures aux exigences en vigueur. L'immeuble est mitoyen au sud-ouest et implanté en limite de propriété au nord-est, ce qui empêche un agrandissement sur deux façades. Il offre des appartements relativement spacieux; du 1,5 pièce de 55 m² au 3,5 pièces de 104 m². L'enveloppe du bâtiment est légèrement dégradée et ne répond plus aux exigences énergétiques actuelles. Les dalles des balcons sont vétustes. La dalle des combles non-chauffés n'est pas isolée. La hauteur des garde-corps est actuellement trop faible. Certaines des portes palières n'ont pas encore été modifiées afin de répondre aux exigences de compartimentage coupe-feu. Les quelques marches à l'entrée de l'immeuble entravent l'accès aux personnes à mobilité réduite. Le scénario développé est la démolition de l'attique et construction de deux nouveaux étages sur le bâtiment.



Situation 1: 2'000

0 5 120

Année de construction	1939
Nombre de logements	25
Nombre de commerces	2
Nombre de logements	24
Nombre de commerces	2
Surface plancher utile	
SUP+SEU [m ²]	1'970+247
Surface plancher utile (SUP+SEU) [m ²]	2'140+253
Surface plancher brute (SP+SEP) [m ²]	2'933+291
Surface plancher brute (SP+SEP) [m ²]	3'219+298
Surface référence énergétique (SRE) [m ²]	2'445
Surface référence énergétique (SRE) rénovée [m ²]	2'155
Surface référence énergétique (SRE) surélévation [m ²]	565
Besoins de chauffage (Q _h) [MJ/(m ² an)]	328
Besoins de chauffage (Q _h) rénové [MJ/(m ² an)]	127
Besoins de chauffage (Q _h) surélévation [MJ/(m ² an)]	85

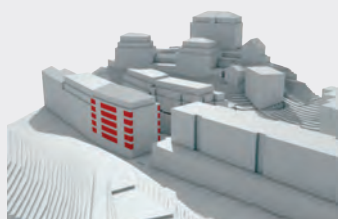
En noir, les données de l'état existant, en rouge les données après transformation.

Évaluation du bâtiment existant

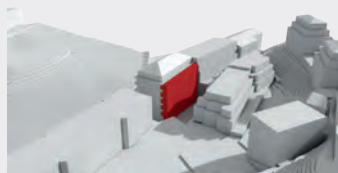
Cadre légal	
Urbanistique	●
Distance de sécurité incendie	●
Protection patrimoniale	—
Vétusté de l'enveloppe	
Toiture attique	● ●
Façade	●
Balcon	●
Obsolescence	
Sécurité incendie	●
Exigences énergétiques	●
Accessibilité aux PMR	●
Dispositif contre la chute	●
Typologique	●
Sécurité sismique	●

● conforme / bon état ● non-conforme / vétuste
— pas d'information / pas de protection

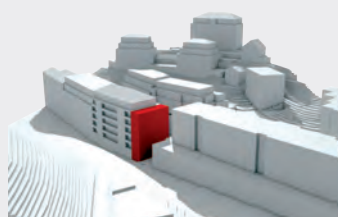
Extrait de la façade est.



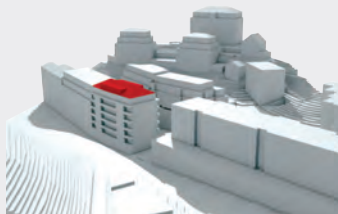
Scénario 01: fermer les balcons.



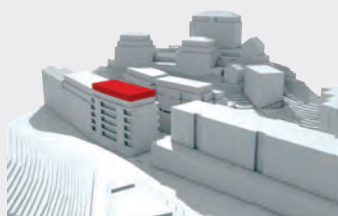
Scénario 02: ajouter une «couche» non chauffée (type jardin d'hiver).



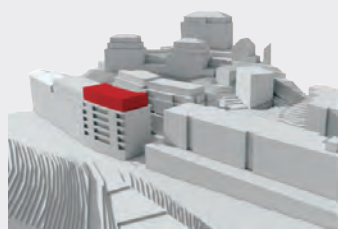
Scénario 03: agrandir la volumétrie en ajoutant des pièces aux appartements existants.



Scénario 05: aménager les combles.



Scénario 06: surélever l'immeuble de 1 étage.

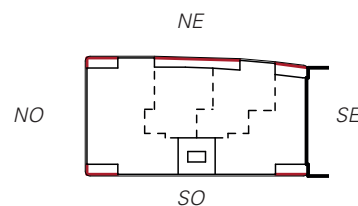


Scénario retenu (D): démonter l'attique et reconstruire 2 étages.

LES SCÉNARIOS DE DENSIFICATION

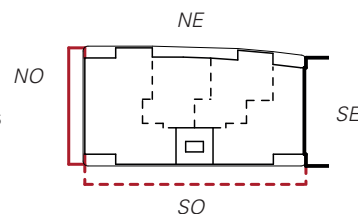
Scénario 01 – fermeture des balcons

- + résout les ponts thermiques
- + améliore l'acoustique sur la rue
- + agrandissement des espaces de vie ou des chambres
- balcons existants relativement étroits
- diminution de la lumière naturelle



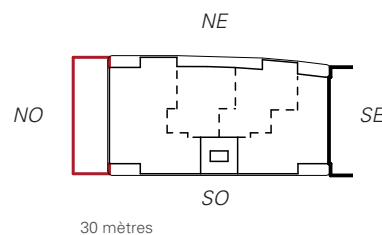
Scénario 02 – couche non-chauffée

- + augmentation des espaces extérieurs
- + amélioration thermique/ acoustique de la façade
- + résout partiellement des ponts thermiques des balcons
- ne respecte pas le règlement urbanistique
- diminution de la lumière dans les logements
- détruit le caractère de la façade



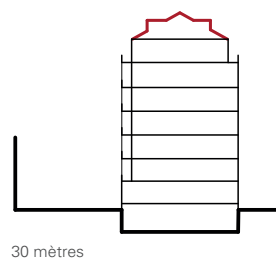
Scénario 03 – agrandissement horizontal

- + deux appartements/étage agrandis (SP ~380 m²)
- + amélioration thermique de la façade nord-ouest
- + suppression partielle des ponts thermiques
- ne respecte pas le règlement urbanistique
- ne respecte pas les directives de protection incendie



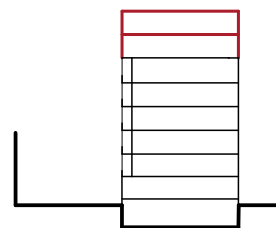
Scénario 05 – aménagement les combles

- + ajout de deux appartements (SP ~170 m²)
- + amélioration thermique de la toiture
- + augmentation des appartements
- pas d'accès en ascenseur, nécessite nouvel ascenseur



Scénario 06 – surélévation

- + remplacement de quatre appartements (SP ~300 m²)
- + amélioration thermique de la toiture
- + augmentation de la diversité des appartements
- ne respecte pas le règlement urbanistique



SCÉNARIO RETENU (D)

Le scénario surélève le bâtiment. Il propose la démolition de l'attique existant et la construction de deux étages en retrait en construction bois. En répondant aux exigences énergétiques de l'enveloppe, le scénario offre trois grands logements en duplex, une toiture neuve et permet d'assainir les terrasses de l'attique.

Murs : le crépi existant de 15 mm est remplacé par un crépi isolant minéral de 40 mm ($\lambda = 0.054$) sur les murs existants. Les parois en bois de la surélévation sont bien isolées avec 220 mm + 60 mm de laine de bois. Une isolation par l'intérieur est mise en œuvre dans les locaux du rez-de-chaussée.

Dalle sur sous-sol et toiture : l'isolation de la dalle à hourdis sur sous-sol est réalisée par-dessous avec une isolation en laine minérale de 120 mm. La nouvelle toiture en pente ventilée est bien isolée avec 320 mm de laine de bois.

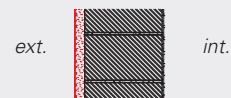
Espaces extérieurs : les loggias sont isolées par-dessus et par-dessous la dalle en ciment. Une isolation extérieure en polystyrène expansé de 120 mm isole les façades des loggias. Le plancher ventilé des terrasses de l'attique bénéficie d'une épaisse isolation posée dans le plancher mis en œuvre pour la reprise des charges et des techniques.

Mur de façade (partie rénovée)

U_{mes}: 1.17 W/m²K (±15%)

Ucal existant: 1.22 W/m²K

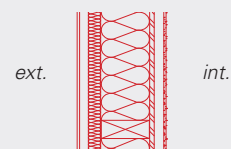
Ucal rénové: 0.65 W/m²K



- . Crépi isolant 40 mm
- . Plots de ciment creux 340 mm
- . Enduit plâtre 7 mm

Mur de façade (partie surélevée)

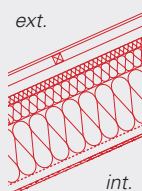
Ucal: 0.17 W/m²K



- . Revêtement et ventilation
- . Isolation combinée 60 mm, $\lambda = 0.039$ W/mK et 0.57 W/mK
- . Isolation 220 mm, $\lambda = 0.038$ W/mK
- . Panneau aggloméré
- . Lattage
- . Panneau de revêtement et enduit

Toiture

Ucal rénové: 0.15 W/m²K

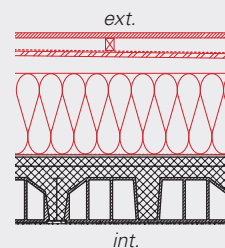


- . Revêtement, lattage, ventilation
- . Sous-toiture 35 mm, $\lambda = 0.047$ W/mK
- . Isolation 80 mm, $\lambda = 0.038$ W/mK
- . Isolation 240 mm, $\lambda = 0.038$ W/mK
- . Pare-vapeur
- . Vide technique
- . Panneau de revêtement, enduit

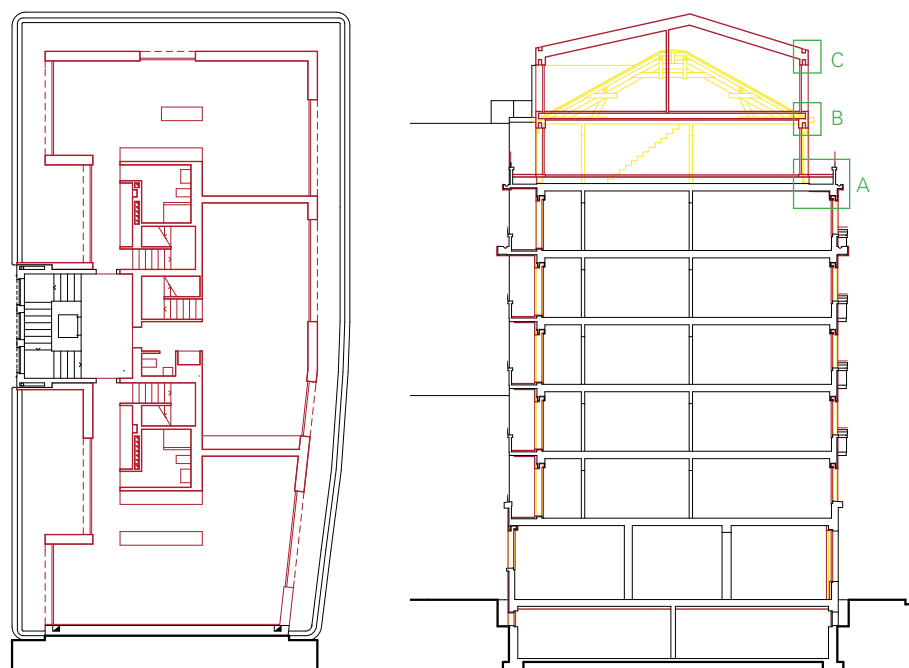
Dalle de terrasse

Ucal existant: 1.22 W/m²K

Ucal rénové: 0.15 W/m²K

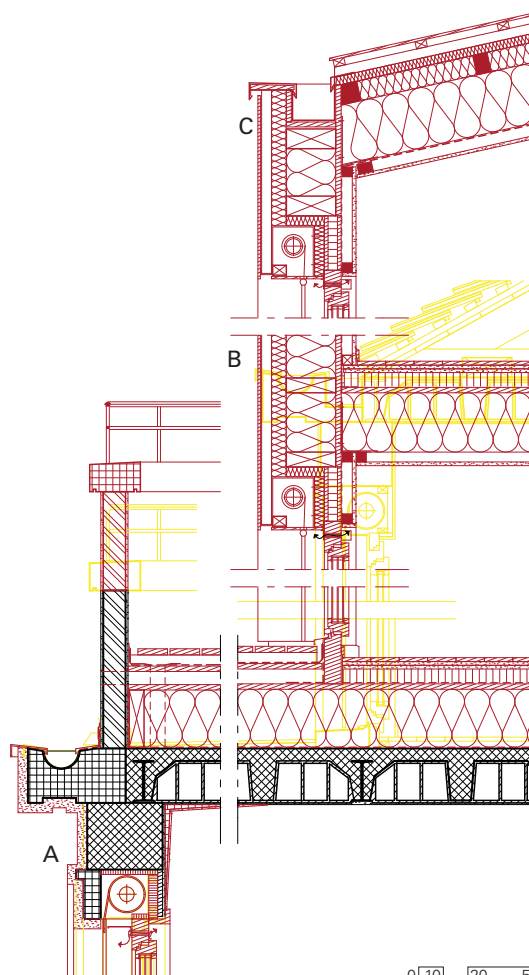


- . Revêtement, lattage
- . Etanchéité
- . Panneau de support
- . Ventilation
- . Isolation 280 mm, $\lambda = 0.038$ W/mK
- . Barrière-vapeur
- . Carrelage
- . Dalle à hourdis T.C. 250 mm
- . Enduit plâtre 7 mm



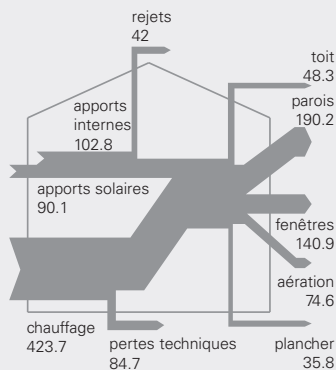
Plan (étage 6) et coupe schématiques. En rouge, les éléments de l'enveloppe isolés ou les nouveaux éléments du scénario et en jaune les éléments démolis.

0 1 2 15

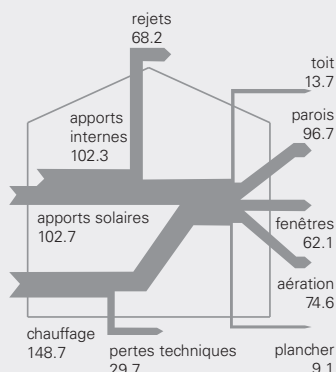


Détail de la partie surélevée.

0 10 20 50



EXISTANT Diagramme de Sankey en [MJ/m²]. La valeur limite SIA 380/1 est de 130 MJ/m² et les besoins chaleur de chauffage (Q_h) sont de 338.9 MJ/m².



SCÉNARIO D (pondéré) Diagramme de Sankey en [MJ/m²]. La valeur limite SIA 380/1 est de 129.8 MJ/m² et les besoins chaleur de chauffage (Q_h) sont de 119 MJ/m².

Coût total (T.T.C.):

Scénario 1: 2'085'000 CHF

Scénario 2: 2'225'000 CHF

Scénario D: 4'625'000 CHF

Coût / m² de SP+SEP (T.T.C.):

Scénario 1: 750 CHF

Scénario 2: 800 CHF

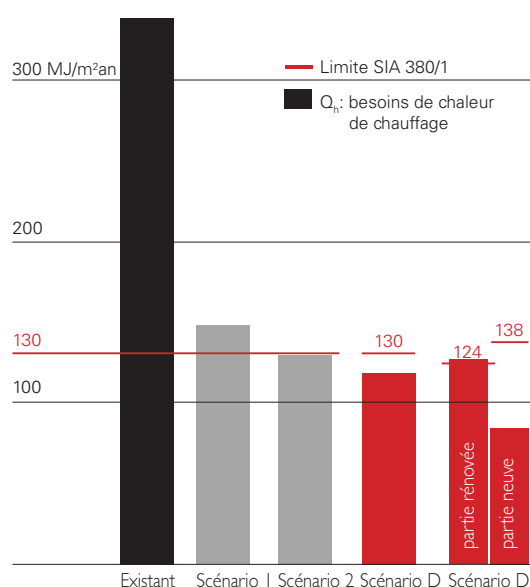
Scénario D: 1'500 CHF

LES GAINS ÉNERGÉTIQUES ET LES COÛTS

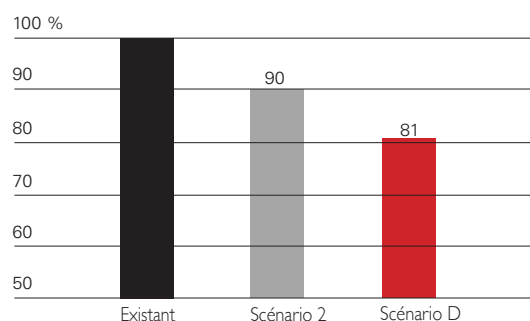
Le scénario 1 (eREN): il intègre le changement des fenêtres, un crépi isolant minéral, l'isolation par l'intérieur du rez-de-chaussée, l'isolation des balcons, des caissons de store, de la dalle des combles et de la dalle sur sous-sol. Il apporte un gain énergétique de 190 MJ/m², soit 56%, pour un investissement de 94% des coûts du scénario 2.

Scénario 2 (eREN): une isolation extérieure de 120 mm des murs arrières des balcons et une isolation intérieure de 90 mm de la façade pignon complètent le scénario 1. Le scénario atteint la valeur-limite SIA 380/1 avec un gain énergétique de 209 MJ/m², soit 62%.

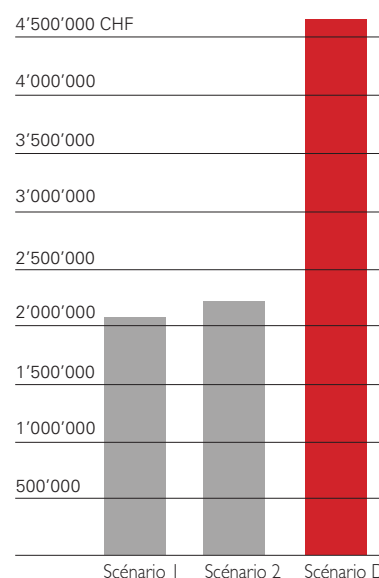
Scénario D (eREN2): le scénario 2 est repris pour les interventions sur la partie existante du bâtiment, sans l'isolation de la dalle des combles et l'isolation intérieure de la façade pignon. Les éléments de la construction de la surélévation intègrent une bonne isolation des façades, de la toiture et de la dalle entre existant et nouveau. Le scénario atteint la valeur-limite SIA 380/1 de 129.8 MJ/m². Il apporte un gain énergétique de 220 MJ/m², soit une amélioration de 65 %.



Graphique des besoins de chaleur (Q_h) de l'état existant et des différents scénarios.



Graphique de rentabilité des scénarios.



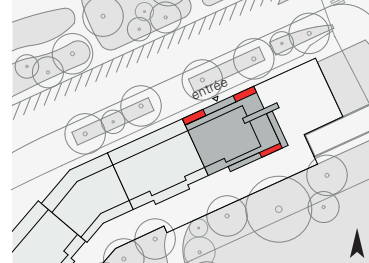
Graphique des coûts financiers de chaque scénario.

CONCLUSION

Le scénario D apporte une légère amélioration énergétique par rapport au scénario 2 (8 %) pour un investissement financier deux fois supérieurs. La rentabilité du scénario D est inférieure de 19% par rapport à l'entretien courant et 10% par rapport au scénario 2. Le point intéressant est la possibilité d'enlever certaines mesures du scénario 2 (comme l'isolation intérieure du pignon) qui sont difficiles à mettre en œuvre et gênent les locataires. En compensant avec les gains énergétiques de la partie neuve, le scénario apporte trois duplex en attique et offre une variété typologique. Malgré la perte des greniers, le bâtiment possède suffisamment d'espaces de rangement dans les sous-sols (caves).

ÉTAT EXISTANT

Situé en périphérie de Genève, dans une zone résidentielle à forte densité, le bâtiment respecte les réglementations urbanistiques en vigueur. L'immeuble, typique des constructions des années 1970, propose des logements généralement destinés à des familles: des 4 pièces de 85 à 90 m² et des 5 pièces de 100 m² (y compris cuisine) avec des espaces de vie souvent peu adaptés aux usages actuels (20 m²). La cuisine est séparée du séjour, et aucun espace n'est véritablement prévu pour prendre les repas. Les balcons en bande entourent tout le bâtiment, indépendamment des orientations et des vues ce qui génère des situations d'abandon (quand le balcon n'est pas dans une orientation favorable). L'enveloppe du bâtiment est en bon état, mais ne répond pas aux exigences énergétiques actuelles. La toiture et les fenêtres ont été rénovées récemment. Le bâtiment répond globalement aux exigences en termes de protection incendie et d'accessibilité pour les personnes à mobilité réduite. Le scénario développé est l'agrandissement ponctuel des espaces de jour sur les balcons existants.



Situation 1: 2'000

0 5 20

Année de construction	1970
Nombre de logements	27
Nombre de logements	27
Surface plancher utile	
SUP+SEU [m ²]	2'308+753
Surface plancher utile	
(SUP+SEU) [m²]	2'449+553
Surface plancher brute	
(SP+SEP) [m ²]	3'078+800
Surface plancher brute	
(SP+SEP) [m²]	3'304+586
Surface référence	
énergétique (SRE) [m ²]	2'811
Surface référence	
énergétique (SRE) [m²]	3'202
Besoins de chauffage (Q _h)	
[MJ/(m ² an)]	335
Besoins de chauffage (Q_h)	
[MJ/(m²an)]	98

En noir, les données de l'état existant, en rouge les données après transformation.

Évaluation du bâtiment existant

Cadre légal

Urbanistique	●
Distance de sécurité incendie	●
Protection patrimoniale	—

Vétusté de l'enveloppe

Toiture	●
Façade	●
Balcon	●

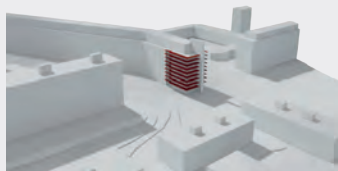
Obsolescence

Sécurité incendie	—
Exigences énergétiques	●
Accessibilité aux PMR	●
Dispositif contre la chute	●
Typologique	●
Sécurité sismique	●

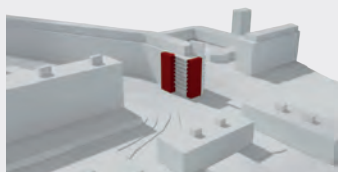
● conforme / bon état ● non-conforme / vétuste
— pas d'information / pas de protection

Extrait de la façade nord-ouest.

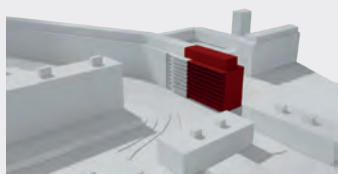




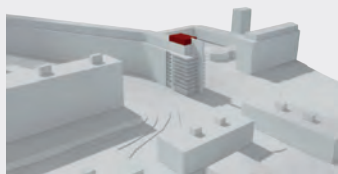
Scénario 01: agrandir des balcons.



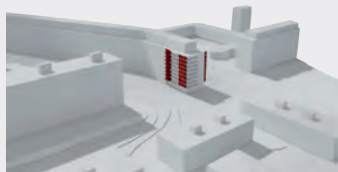
Scénario 02: ajouter une «couche» non chauffée (type jardin d'hiver).



Scénario 04: agrandir la volumétrie en ajoutant des appartements.



Scénario 06: surélever l'immeuble de 1 étage.

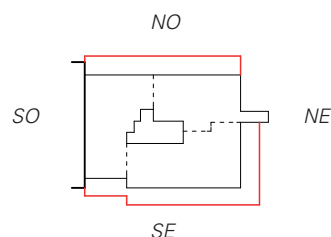


Scénario retenu (D): agrandir ponctuellement le volume chauffé sur l'espace des balcons.

LES SCÉNARIOS DE DENSIFICATION

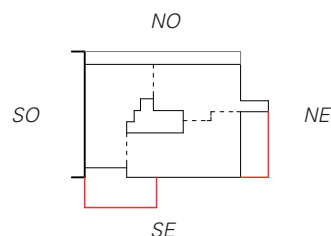
Scénario 01 – nouveaux balcons

- + répond en partie à un besoin d'usage
- + coupe les ponts thermiques
- diminution de la lumière naturelle
- ne résout pas la question thermique
- difficultés à porter



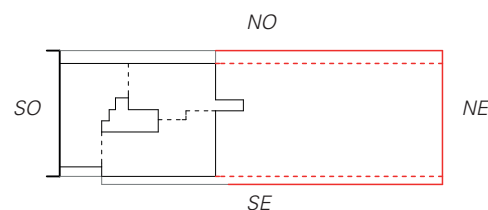
Scénario 02 – couche non-chauffée

- + répond à un besoin d'usage
- + amélioration thermique de la façade
- + augmentation de la surface des pièces de jour
- + résout en partie les ponts thermiques des balcons
- diminution de la lumière naturelle
- modification de la typologie difficile
- ne respecte pas le règlement urbanistique



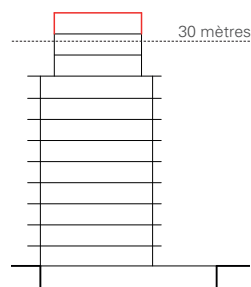
Scénario 04 – agrandissement horizontal

- + augmentation du nombre de logements
- ne respecte pas le règlement urbanistique
- pas de valorisation du bâtiment existant



Scénario 06 – surélévation

- + amélioration thermique de la toiture
- + augmentation du nombre de logements
- sortie des gaines existantes en toiture
- difficulté des appuis sur la structure existante
- ne respecte pas le règlement urbanistique
- ne respecte pas les normes de sécurité incendie



SCÉNARIO RETENU (D)

Le scénario retenu consiste à utiliser une partie de l'espace des balcons sous-exploité pour agrandir les zones de jour afin de les faire mieux correspondre aux normes d'usage en vigueur. La façade légère déportée est tenue entre les dalles de balcons existantes, sans renforcement structurel nécessaire. L'attique en béton préfabriqué est isolé par l'intérieur. En apportant un confort d'usage supplémentaire aux habitants, le scénario propose également une nouvelle image au bâtiment.

Murs : les parties agrandies sont en façade légère (fenêtres et contrecœurs isolés), les parties existantes maintenues sont isolées par l'extérieur avec 200 mm d'EPS.

Dalle sur rez-de-chaussée et toiture : l'attique en béton préfabriqué est isolé par l'intérieur avec 80 mm de laine minérale et les fenêtres sont changées. La dalle sur rez-de-chaussée est isolée par 100 mm de laine minérale.

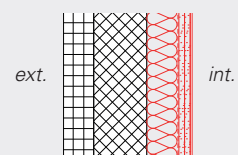
Espaces extérieurs : la toiture plate et les terrasses sont maintenues en l'état (rénovation récente).

Mur de façade attique

U_{mes}: 1.85 W/m²K

Ucal existant: 2.12 W/m²K

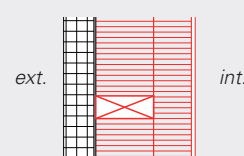
Ucal rénové: 0.41 W/m²K



- . Béton préfabriqué 80 mm
- . Béton coulé 140 mm
- . Isolation 80 mm, $\lambda = 0.04$ W/mK
- . Pare-vapeur
- . Plaques de plâtre enduites

Mur contrecœur (partie rénovée)

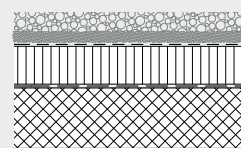
Ucal: 0.21 W/m²K



- . Béton préfabriqué 85 mm
- . Panneau OSB 20 mm
- . Isolation et sous-construction bois 150 mm, $\lambda = 0.04$ W/mK
- . Panneau OSB 20 mm
- . Pare-vapeur
- . Isolation et sous-construction bois 100 mm, $\lambda = 0.04$ W/mK
- . Panneau de plâtre et lissage 20 mm

Toiture

Ucal: 0.31 W/m²K

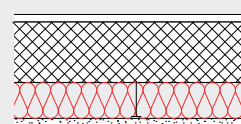


- . Gravier 50 mm
- . Sable 30 mm
- . Etanchéité provisoire
- . Isolation 100-140 mm, $\lambda = 0.042$ W/mK
- . Etanchéité bitumineuse
- . Dalle béton 160 mm
- . Lissage plâtre 10 mm

Dalle contre rez-de-chaussée

Ucal existant: 2.14 W/m²K

Ucal rénové: 0.29 W/m²K

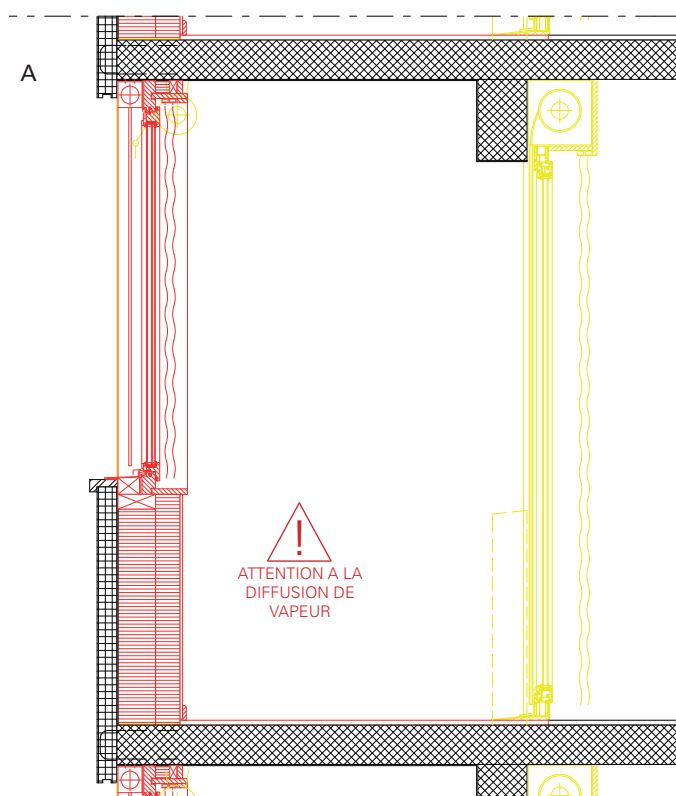


- . Parquet collé 20 mm
- . Dalle béton armé 160 mm
- . Isolation 100 mm, $\lambda = 0.04$ W/mK
- . Pare-vapeur
- . Faux-plafond suspendu en plaques de plâtre gypsées 25 mm



Plan (étages 1 à 8) et coupe schématiques. En rouge, les éléments de l'enveloppe isolés ou les nouveaux éléments du scénario et en jaune les éléments démolis.

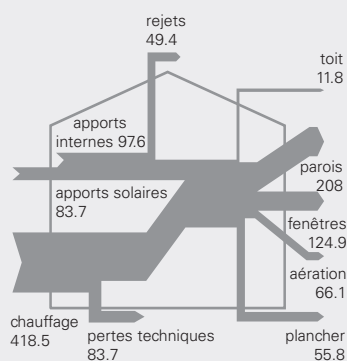
0 1 2 15



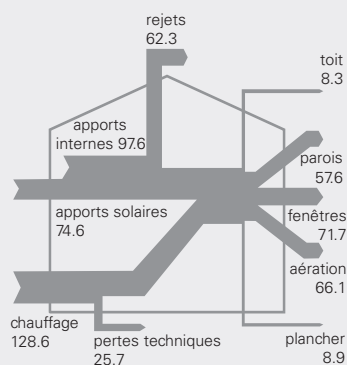
Une variante avec un isolant en verre cellulaire pourrait être envisagée afin de diminuer les risques liés aux difficultés de mise en œuvre du pare-vapeur.

Détail de la partie surélevée.

0 10 20 50



EXISTANT Diagramme de Sankey en [MJ/m²]. La valeur limite SIA 380/1 est de 108.3 MJ/m² et les besoins chaleur de chauffage (Q_h) sont de 334.8 MJ/m².



SCÉNARIO D Diagramme de Sankey en [MJ/m²]. La valeur limite SIA 380/1 est de 104.4 MJ/m² et les besoins chaleur de chauffage (Q_h) sont de 102.9 MJ/m².

Part des pertes par les ponts thermiques : 26.9% (si l'on ne tient pas compte des pertes par aération).

Coût total (T.T.C.):

Scénario 1: 1'400'000 CHF

Scénario 2: 1'895'000 CHF

Scénario D: 3'050'000 CHF

Coût / m² de SP+SEP (T.T.C.):

Scénario 1: 360 CHF

Scénario 2: 490 CHF

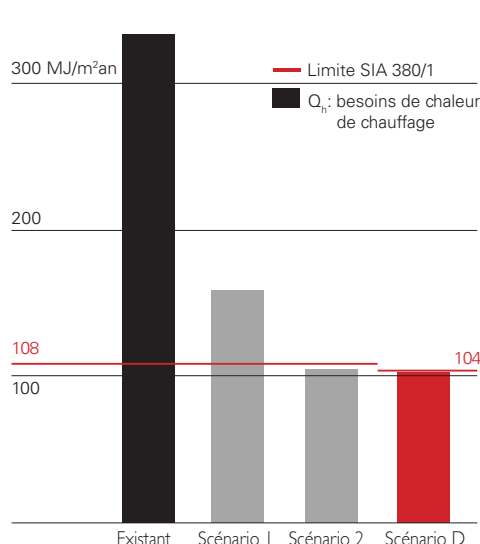
Scénario D: 785 CHF

LES GAINS ÉNERGÉTIQUES ET LES COÛTS

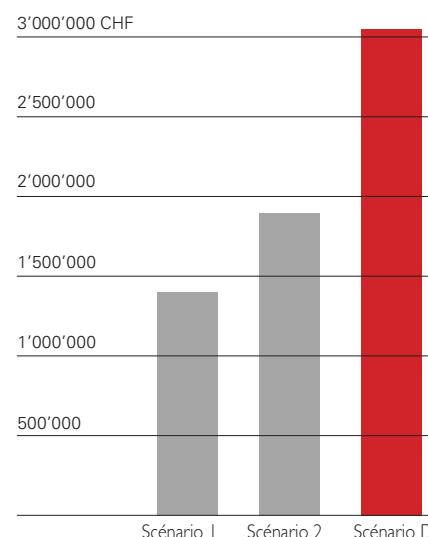
Le scénario 1 (eREN): il intègre l'isolation des trois façades, des plafonds de balcons, de la dalle sur rez, le remplissage des caissons de stores et l'isolation intérieure de l'attique. Les fenêtres des étages 1 à 8 sont conservées. Il apporte un gain énergétique de 170 MJ/m², soit 76%, pour un investissement de 74% des coûts totaux du scénario 2. Il ne permet pas de satisfaire aux exigences de la norme SIA 380/1.

Scénario 2 (eREN): il reprend les mesures prévues du scénario 1 en y ajoutant le remplacement des fenêtres par des cadres bois-métal avec du verre isolant triple pour permettre d'atteindre la valeur limite. Il apporte un gain énergétique de 230.4 MJ/m², soit 69%.

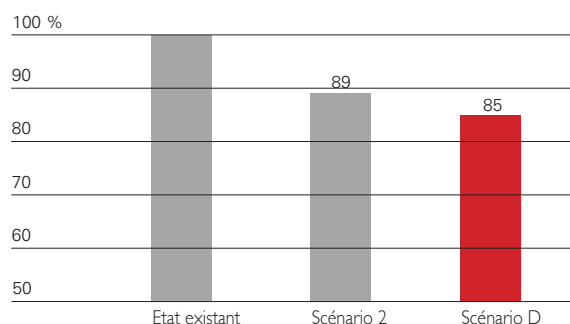
Scénario D (eREN2): il reprend les mesures des scénarios 1 et 2 avec l'agrandissement ponctuel des espaces de jour sur le balcon existant. Avec un besoin de chaleur de 102.9 MJ/m², le scénario atteint de justesse la valeur limite SIA 380/1 de 104.4 MJ/m². Il apporte un gain énergétique de 231.9 MJ/m², soit une amélioration de 69%.



Graphique des besoins de chaleur (Q_h) de l'état existant et des différents scénarios.



Graphique des coûts financiers de chaque scénario.



Graphique de rentabilité des scénarios.

CONCLUSION

Le scénario de densification présente un intérêt véritable dans le cas de ce bâtiment. Même si sur le plan thermique le gain est presque nul par rapport au scénario 2 (+0.5% de gains), on observe qu'avec un investissement certes supérieur mais une rentabilité presque équivalente, les séjours des appartements gagnent une surface supplémentaire très intéressante, rendant les appartements attractifs et permettant au bâtiment de répondre aux exigences actuelles en termes de confort d'usage. En raison du nombre important d'éléments préfabriqués, ce genre d'opération peut se faire en présence des locataires, à condition de planifier minutieusement l'exécution et de faire appel à une direction des travaux solide.

ÉTAT EXISTANT

Situé en zone d'habitation dans une commune à l'ouest de Lausanne, le bâtiment ne respecte aujourd'hui pas la réglementation urbanistique; sa hauteur de façade n'étant pas conforme au règlement en vigueur. L'immeuble offre des appartements variés; du 2 pièces de 48 m² au 4.5 pièces de 93 m², cependant ils ont de petites chambres (de 9 à 13 m²) et de petits espaces de vie (de 15 à 19 m²). L'enveloppe du bâtiment est légèrement dégradée et ne répond plus aux exigences énergétiques actuelles. Les balcons et la couverture de la toiture sont détériorés, ils nécessiteraient un assainissement. L'escalier principal, d'une largeur de 100 cm ne répond pas aux exigences actuelles pour les voies d'évacuation. Certaines des portes palières n'ont pas encore été modifiées afin de répondre aux exigences de compartimentage coupe-feu. La hauteur des garde-corps est actuellement trop faible. Le scénario développé est l'agrandissement du volume au nord, l'agrandissement des espaces extérieurs au sud et une surélévation d'un étage.



Année de construction	1972
Nombre de logements	15
Nombre de commerces	1
Nombre de logements	19
Nombre de commerces	1
Surface plancher utile	
SUP+SEU [m ²]	1'124+147
Surface plancher utile (SUP+SEU) [m ²]	1'821+235
Surface plancher brute (SP+SEP) [m ²]	1'690+168
Surface plancher brute (SP+SEP) [m ²]	2'663+245
Surface référence énergétique (SRE) [m ²]	1'446
Surface référence énergétique (SRE) rénovée [m ²]	1'893
Surface référence énergétique (SRE) surélévation [m ²]	458
Besoins de chauffage (Q _h) [MJ/(m ² an)]	328
Besoins de chauffage (Q _h) rénové [MJ/(m ² an)]	103
Besoins de chauffage (Q _h) surélévation [MJ/(m ² an)]	75

En noir, les données de l'état existant, en rouge les données après transformation.

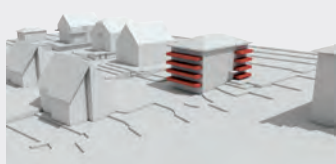
Évaluation du bâtiment existant

Cadre légal	
Urbanistique	●
Distance de sécurité incendie	●
Protection patrimoniale	—
Vétusté de l'enveloppe	
Toiture	●
Façade	●
Balcon	●
Obsolescence	
Sécurité incendie	●
Exigences énergétiques	●
Accessibilité aux PMR	●
Dispositif contre la chute	●
Typologique	●
Sécurité sismique	●

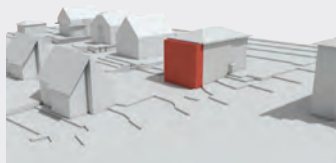
● conforme / bon état ● non-conforme / vétuste
— pas d'information / pas de protection

Extrait de la façade est.

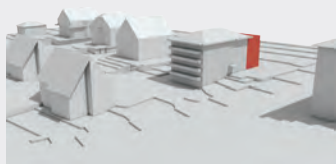




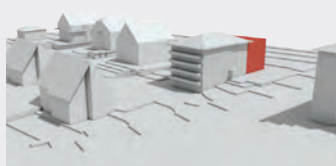
Scénario 01: agrandir les balcons.



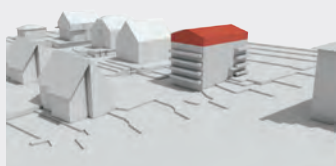
Scénario 02: ajouter une «couche» non chauffée (type jardin d'hiver).



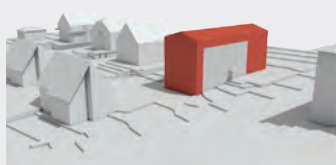
Scénario 03: agrandir la volumétrie en ajoutant des pièces aux appartements existants.



Scénario 04: agrandir la volumétrie en ajoutant des appartements.



Scénario 06: surélever l'immeuble de 1 étage.



Scénario D: surélever l'immeuble et agrandir la volumétrie en ajoutant des pièces aux appartements existants..

LES SCÉNARIOS DE DENSIFICATION

Scénario 01 – nouveaux balcons

- + résout les ponts thermiques
- balcons existants suffisamment grands
- diminution de la lumière naturelle

Scénario 02 – couche non-chauffée

- + augmentation des espaces extérieurs
- + amélioration thermique de la façade
- + résolution des ponts thermiques des balcons
- ne respecte pas le règlement urbanistique
- diminution de la lumière dans les logements
- à l'est et ouest, peu compatible avec la typologie

Scénario 03 – agrandissement horizontal

- + deux appart./étage agrandis (SP ~122 m²)
- + amélioration thermique d'une façade
- + suppression partielle des ponts thermiques
- ne respecte pas le règlement urbanistique

Scénario 04 – agrandissement horizontal

- + un appartement/étage (SP de ~205 m²)
- + amélioration thermique d'une façade
- + suppression partielle des ponts thermiques
- + résout la distribution des nouveaux appartements
- ne respecte pas le règlement urbanistique

Scénario 06 – surélévation

- + ajout de trois appartements (SP ~360 m²)
- + amélioration thermique de la toiture
- + augmentation des appartements
- largeur de la cage d'escalier existante trop faible
- ne respecte pas le règlement urbanistique

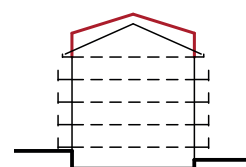
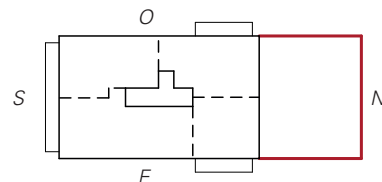
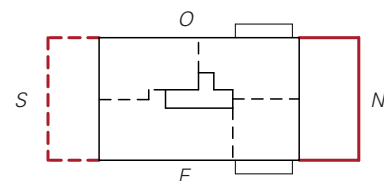
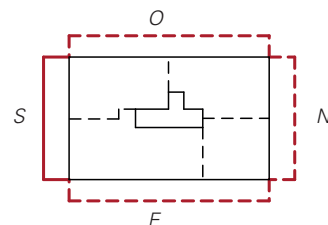
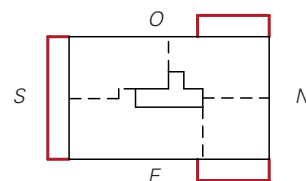
SCÉNARIO RETENU (D)

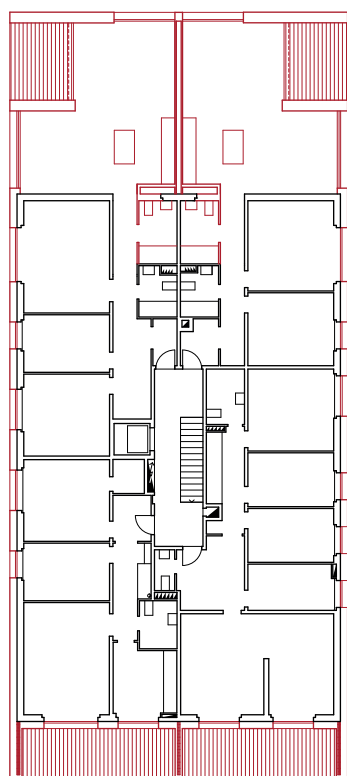
Le scénario agrandit 2 appartements par étage grâce l'adjonction d'un volume au nord (pièces supplémentaires). Il surélève aussi le bâtiment d'un étage en construction bois sur l'ensemble du bâtiment et de l'agrandissement nord. Le scénario permet d'agrandir des logements existants, d'offrir quatre appartements supplémentaires, de répondre aux exigences énergétiques et redonne une nouvelle image à l'édifice. Il permet simultanément d'assainir la toiture, d'offrir de nouveaux espaces extérieurs et d'améliorer significativement les pertes par les ponts thermiques. Cependant, cette intervention ne répond d'une part pas au règlement d'urbanisme en vigueur et d'autre part, réduit les places de stationnement alors que le nombre de logements augmente. La cage d'escalier existante n'étant pas assez large, le projet ne respecte pas les directives incendie concernant les voies de fuite.

Murs : une isolation en fibres de bois de 160 mm + 60 mm est posée à l'extérieur des 4 étages supérieurs. Elle est revêtue d'un bardage en bois ventilé. Une isolation en verre cellulaire est posée à l'intérieur des murs du local commercial. Les murs contre les espaces non-chauffés du rez-de-chaussée sont isolés avec 120 mm de laine minérale. Les nouvelles façades en ossature bois sont bien isolées avec 340 + 60 mm de fibres de bois.

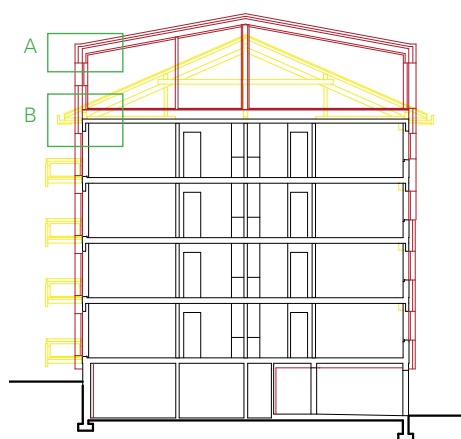
Dalle sur sous-sol et toiture : une isolation de 100 mm en laine minérale est posée sous la dalle sur rez-de-chaussée dans les locaux non-chauffés. L'isolation de la dalle inférieure du local commercial n'est pas renforcée. La nouvelle toiture est isolée avec 320 + 35 mm de fibres de bois.

Espaces extérieurs : les dalles continues en béton armé des balcons existants sont sciées. Les balcons sont démontés et remplacés par de nouveaux éléments dissociés de la façade et structurellement indépendants au sud et des loggias intégrées dans l'agrandissement nord.

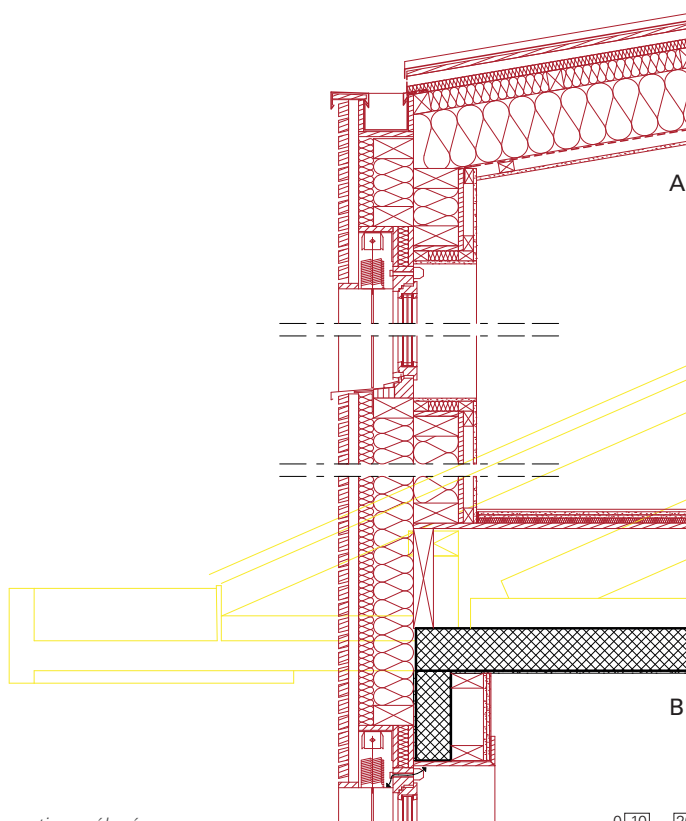




Plan (étage type) et coupe schématiques. En rouge, les éléments de l'enveloppe isolés ou les nouveaux éléments du scénario et en jaune les éléments démolis.



0 1 2 15



Détail de la partie surélevée.

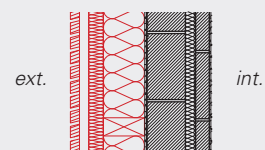
0 10 20 50

Mur de façade (partie existante)

U_{mes} : 0.52 W/m²K (±14%)

Ucal existant: 0.56 W/m²K

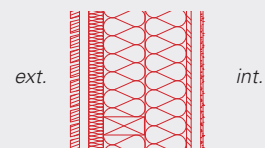
Ucal rénové: 0.14 W/m²K



- . Revêtement
- . Ventilation 40 mm
- . Isolation 60 mm
- . Ossature et isolation 160 mm
- . Enduit 8 mm
- . Briques T.C. creuses 180 mm
- . Isolation laine minérale 40 mm
- . Pare-vapeur, feuille alu
- . Briques T.C. creuses 60 mm
- . Enduit plâtre ~6 mm

Mur de façade (partie neuve)

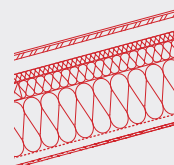
Ucal rénové: 0.09 W/m²K



- . Revêtement
- . Ventilation 40 mm
- . Isolation 60 mm
- . Ossature et isolation 160 + 180 mm
- . Panneau particule, pare-vapeur
- . Vide technique 40 mm
- . Panneau de plâtre, enduit

Toiture

Ucal rénové: 0.11 W/m²K

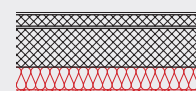


- . Revêtement
- . Panneau de support
- . Ventilation 50 mm
- . Isolation, sous-couverture 35 mm
- . Ossature et isolation 80 + 240 mm
- . Pare-vapeur
- . Vide technique 40 mm
- . Panneau de plâtre, enduit

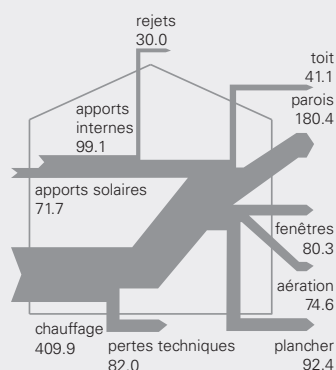
Dalle sur locaux non-chauffés

Ucal existant: 1.52 W/m²K

Ucal rénové: 0.28 W/m²K

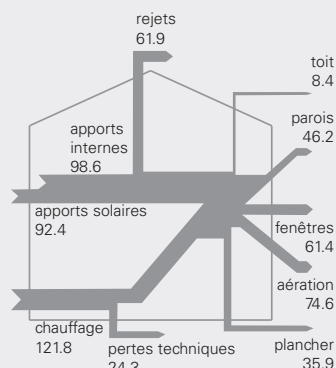


- . Revêtement sol ~10 mm
- . Chape ciment 60 mm
- . Sous-couche séparation
- . Béton armé 170 mm
- . Isolation 100 mm



EXISTANT Diagramme de Sankey en [MJ/m²]. La valeur limite SIA 380/1 est de 140 MJ/m² et les besoins de chaleur de chauffage (Q_h) sont de 327.9 MJ/m².

Part des pertes par les ponts thermiques: 15.1% (si l'on ne tient pas compte des pertes par aération).



SCÉNARIO D (pondéré) Diagramme de Sankey en [MJ/m²]. La valeur limite SIA 380/1 est de 130.4 MJ/m² et les besoins de chaleur de chauffage (Q_h) sont de 97.3 MJ/m².

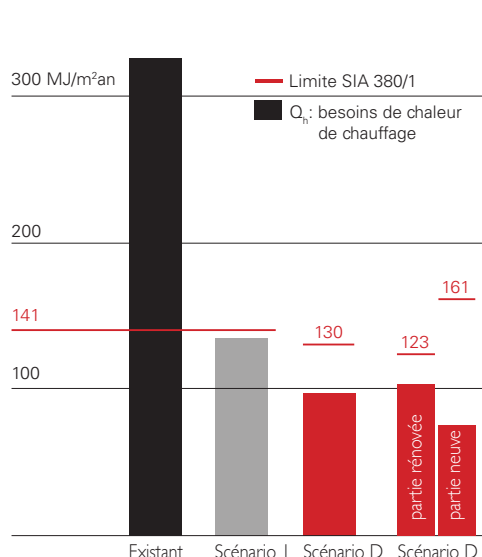
Coût total (T.T.C.):
Scénario 1: 1'715'000 CHF
Scénario D: 6'635'000 CHF

Coût / m² de SP+SEP (T.T.C.):
Scénario 1: 850 CHF
Scénario D: 2'280 CHF

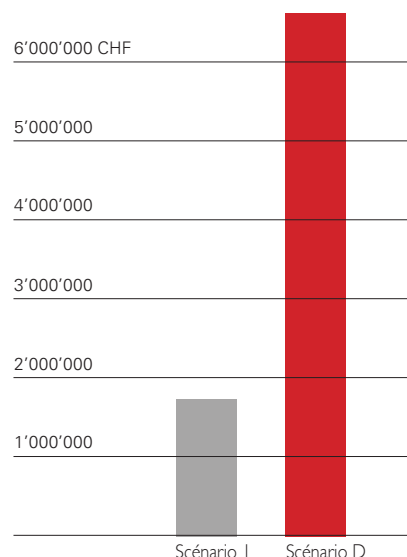
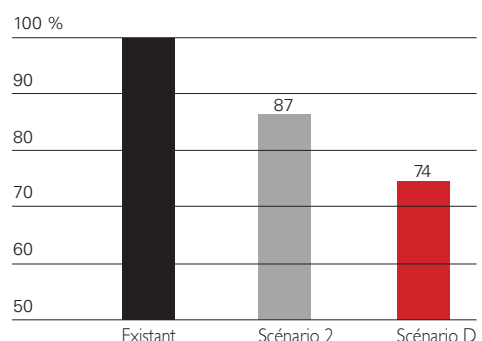
LES GAINS ÉNERGÉTIQUES ET LES COÛTS

Le scénario 1 (eREN): il intègre le remplacement des fenêtres, l'isolation extérieure des murs, l'isolation intérieure des murs du rez-de-chaussée, l'isolation de la dalle des combles, l'isolation de la dalle et des murs contre les espaces non-chauffés. Le scénario atteint la valeur-limite SIA 380/1. Il apporte un gain énergétique de 193.2 MJ/m², soit une amélioration de 59 %.

Scénario D (eREN2): il intègre le remplacement des fenêtres, l'isolation extérieure des murs existants, l'isolation intérieure des murs du rez-de-chaussée, l'isolation de la dalle contre les espaces non-chauffés. Une surélévation d'un étage en construction bois très bien isolée et un agrandissement du volume au nord sur 4 étages complètent le scénario. Le scénario atteint la valeur-limite SIA 380/1 de 130 MJ/m². Il apporte un gain énergétique de 230 MJ/m², soit une amélioration de 70 %.



Graphique des besoins de chaleur (Q_h) de l'état existant (en noir) et des scénarios.



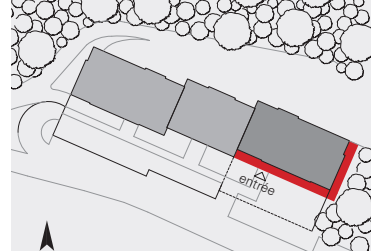
Graphique des coûts financiers pour chaque scénario.

CONCLUSION

Le scénario D apporte une nouvelle image du bâtiment. Il apporte une augmentation de la surface des appartements existants, des chambres plus adaptées aux standards actuels et quatre d'appartements supplémentaires. Les gains énergétiques sont supérieurs de 18 % au scénario 2. L'investissement financier est près de quatre fois supérieur pour quatre appartements supplémentaires et la rentabilité est nettement dégradée. La surélévation permet de trouver des synergies dans l'assainissement de la toiture et la résolution du pont thermique de l'avant-toit existant en béton. L'agrandissement du volume au nord réduit le nombre de places de parc. La largeur de la cage d'escalier existante de 100 cm nécessite une dérogation de la part de la police du feu.

ÉTAT EXISTANT

Situé en zone résidentielle de forte densité à Fribourg, le bâtiment ne respecte aujourd'hui pas la réglementation urbanistique. Tant sa hauteur, sa distance à la limite que l'indice d'utilisation ne sont pas conformes. L'immeuble offre des appartements variés; du studio de 24 m² au 4 pièces de 89 m², avec des chambres (de 10 à 16 m²) et des espaces de vie (de 18 à 21 m²) adaptés aux usages actuels. Cependant, la cuisine est déconnectée du séjour et de l'espace extérieur et l'espace repas est de dimensions réduites. L'enveloppe du bâtiment est en relativement bon état, mais ne répond plus aux exigences énergétiques actuelles. La toiture (partiellement rénoverée) et les fenêtres (partiellement changées) nécessiteraient un assainissement. Certaines des portes palières n'ont pas encore été modifiées afin de répondre aux exigences de compartimentage coupe-feu. La hauteur des garde-corps et les contrecœurs est actuellement trop faible. Le scénario développé est l'agrandissement par une «couche» non chauffée accolée aux façades sud-ouest et sud-est.



Situation 1: 2'000

0 5 20

Année de construction	1975
Nombre de logements	65
Nombre de logements	65
Surface plancher utile	
SUP+SEU [m ²]	3'510+378
Surface plancher utile	
(SUP+SEU) [m²]	3'510+964
Surface plancher brute	
(SP+SEP) [m ²]	6'067+422
Surface plancher brute	
(SP+SEP) [m²]	6'273+1'138
Surface référence	
énergétique (SRE) [m ²]	5'065
Surface référence	
énergétique (SRE) [m²]	5'258
Besoins de chauffage (Q _h)	
[MJ/(m ² an)]	330
Besoins de chauffage (Q_h)	
[MJ/(m²an)]	92

En noir, les données de l'état existant, en rouge les données après transformation.

Évaluation du bâtiment existant

Cadre légal

- Urbanistique ●
- Distance de sécurité incendie ●
- Protection patrimoniale —

Vétusté de l'enveloppe

- Toiture ●
- Façade ●
- Balcon ●

Obsolescence

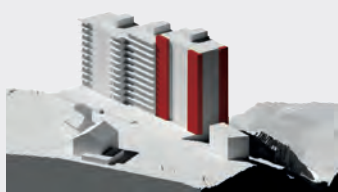
- Sécurité incendie ●
- Exigences énergétiques ●
- Accessibilité aux PMR ●
- Dispositif contre la chute ●
- Typologique ●
- Sécurité sismique ●

● conforme / bon état ● non-conforme / vétuste

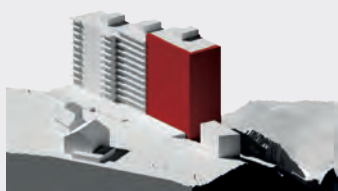
— pas d'information / pas de protection

* nécessite une étude approfondie

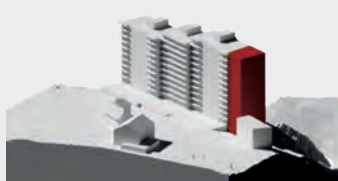
Extrait de la façade sud-ouest.



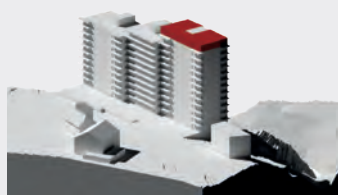
Scénario 01: remplacer les balcons.



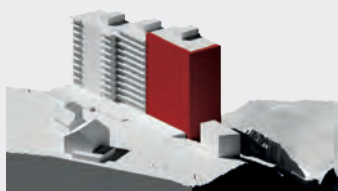
Scénario 02: ajouter une «couch» non chauffée (type jardin d'hiver).



Scénario 03: agrandir la volumétrie en ajoutant des pièces aux appartements existants.



Scénario 06: surélever l'immeuble de 1 étage.



Scénario retenu (D) : ajouter une «couch» non chauffée (type jardin d'hiver).

LES SCÉNARIOS DE DENSIFICATION

Scénario 01 – remplacer les balcons

- + résout les ponts thermiques
- balcons existants suffisamment grands
- diminution de la lumière naturelle

Scénario 02 – ajouter une couche non-chauffée

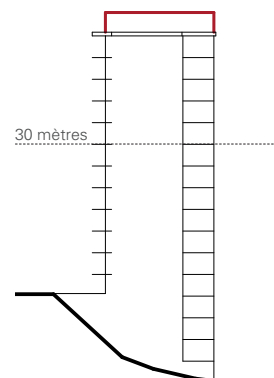
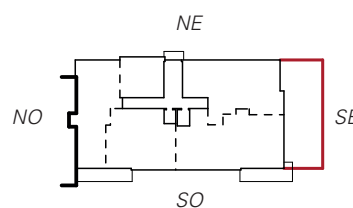
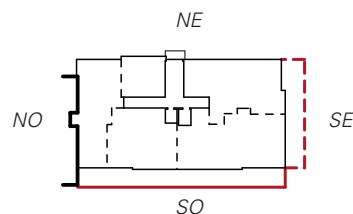
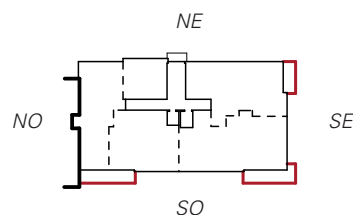
- + augmentation des espaces extérieurs
- + amélioration thermique de la façade
- + résolution des ponts thermiques des balcons
- ne respecte pas le règlement urbanistique
- diminution de la lumière dans les logements
- difficulté des appuis de la structure au sud

Scénario 03 – agrandissement horizontal

- + deux appartements/étage agrandis (SP de ~140 m²)
- + amélioration thermique de la façade est
- + suppression partielle des ponts thermiques
- + modification de la typologie difficile
- ne respecte pas le règlement urbanistique

Scénario 06 – surélévation

- + ajout de deux appartements (SP ~340 m²)
- + amélioration thermique de la toiture
- + augmentation des appartements de 65 à 67
- sorties de gaines existantes en toiture
- prolongation de l'ascenseur nécessaire
- ne respecte pas le règlement urbanistique



SCÉNARIO RETENU (D)

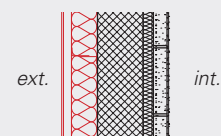
Le scénario donne une nouvelle image au bâtiment. Il propose la démolition des balcons existants, l'assainissement des façades et la mise en œuvre d'une nouvelle «couch» d'espaces non chauffés contre les façades sud-ouest et sud-est. En répondant aux exigences énergétiques de l'enveloppe, le scénario permet d'offrir de nouveaux espaces «extérieurs» plus généreux et pouvant être utilisés comme espaces intérieurs à la belle saison, d'atténuer les ponts thermiques et de mettre en conformité les dispositifs contre la chute.

Murs : une façade ventilée est posée à l'extérieur avec une isolation en laine minérale de 120 mm d'épaisseur au sud et à l'est et 220 mm au nord.

Dalle sur sous-sol et toiture : la toiture est isolée avec une isolation en polystyrène extrudé de 160 mm. La hauteur des garages permet de mettre en place 140 mm de laine minérale sous les dalles situées contre les logements.

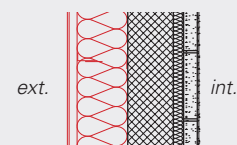
Espaces extérieurs : tous les balcons existants sont démolis. Ils sont remplacés au sud-ouest et sud-est par une «couch» non chauffée servant de jardin d'hiver. Elle est construite en structure métallique avec une enveloppe constituée de vitrages coulissants non isolés.

Mur de façade sud et est
U_{mes}: 0.46 W/m²K (±13%)
U_{cal} existant: 0.45 W/m²K
U_{cal} rénové: 0.14 W/m²K



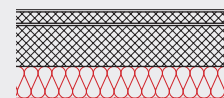
- . Revêtement et ventilation
- . Isolation 120 mm, $\lambda = 0.031$ W/mK
- . Béton apparent 200 mm
- . Isolation 60 mm
- . Pare-vapeur aluminium
- . Doublage plâtre 60 mm
- . Enduit plâtre ~3 mm

Mur de façade nord
U_{mes}: 0.46 W/m²K (±13%)
U_{cal} existant: 0.45 W/m²K
U_{cal} rénové: 0.10 W/m²K



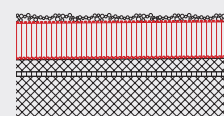
- . Revêtement et ventilation
- . Isolation 220 mm, $\lambda = 0.031$ W/mK
- . Béton apparent 200 mm
- . Isolation 60 mm
- . Pare-vapeur aluminium
- . Doublage plâtre 60 mm
- . Enduit plâtre ~3 mm

Dalle sur sous-sol
U_{cal} existant: 2.57 W/m²K
U_{cal} rénové: 0.21 W/m²K



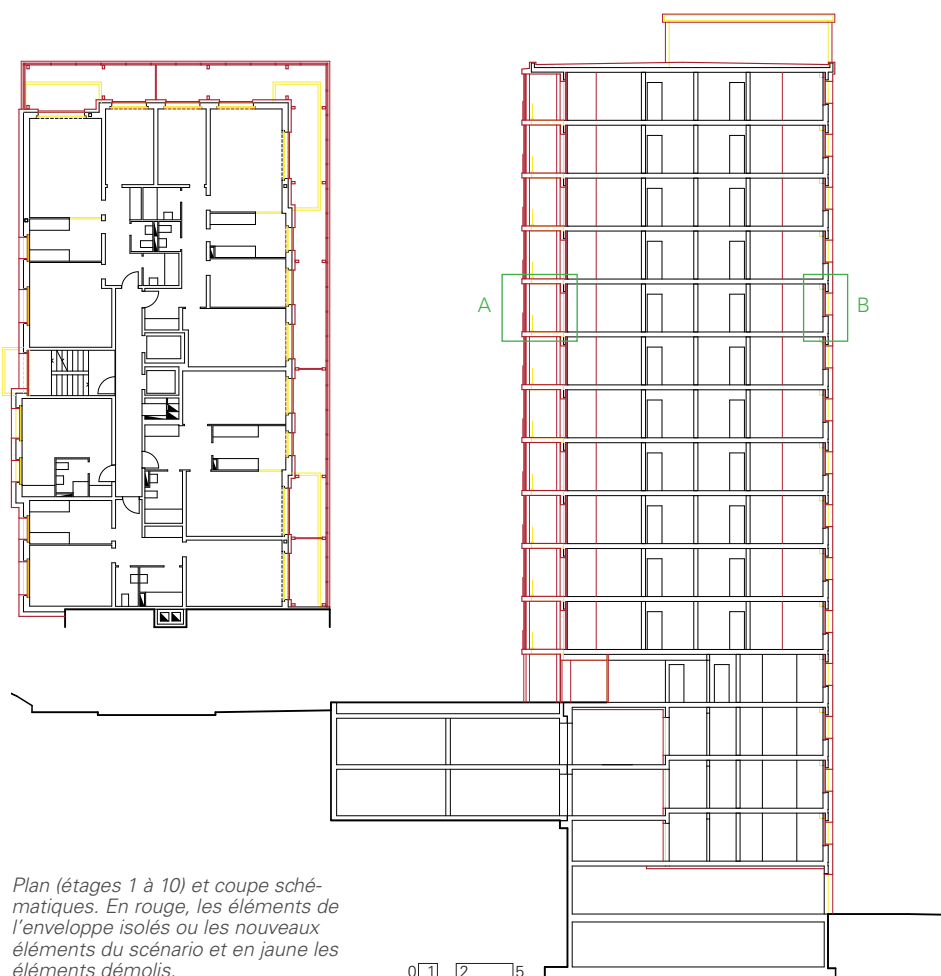
- . Parquet
- . Chape ciment ~60 mm
- . Couche séparation
- . Dalle béton armé 180 mm
- . Isolation 140 mm, $\lambda = 0.035$ W/mK

Toiture
U_{cal} existant: 1.0 W/m²K
U_{cal} rénové: 0.15 W/m²K

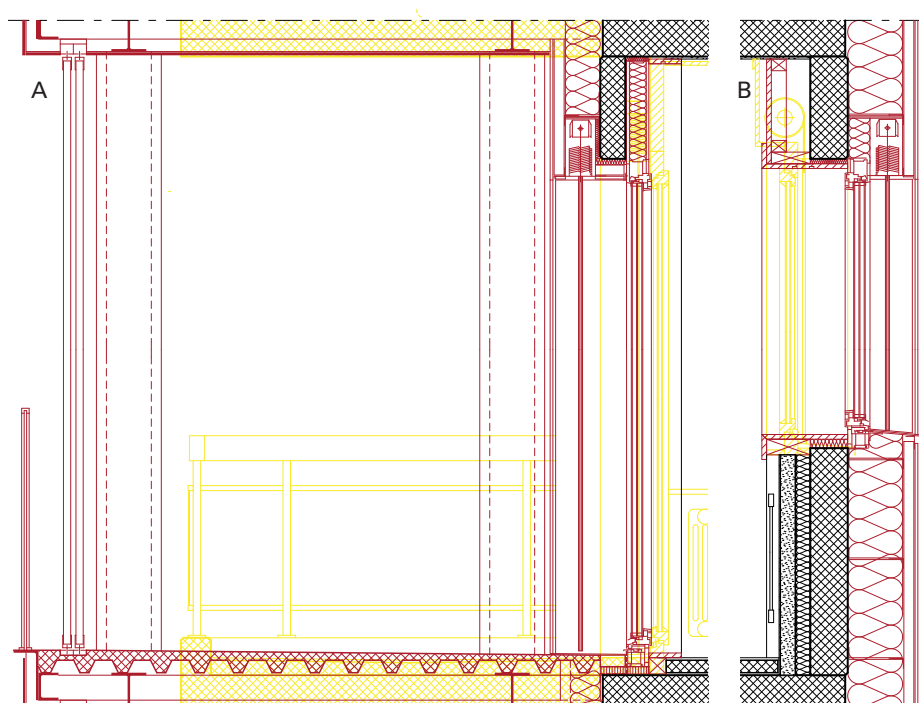


- . Étanchéité
- . Isolation 160 mm, $\lambda = 0.029$ W/mK
- . Barrière-vapeur
- . Chape ciment 60 mm
- . Étanchéité
- . Couche séparation liège ~20 mm
- . Dalle béton armé 180 mm
- . Enduit plâtre ~6 mm

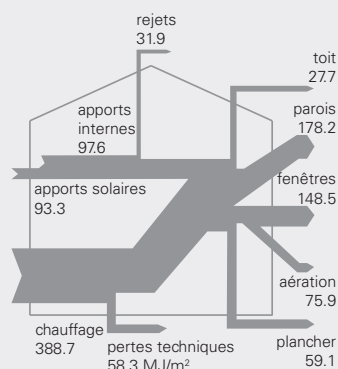
Les mesures mises en œuvre au niveau de l'amélioration thermique de l'enveloppe.



Plan (étages 1 à 10) et coupe schématiques. En rouge, les éléments de l'enveloppe isolés ou les nouveaux éléments du scénario et en jaune les éléments démolis.

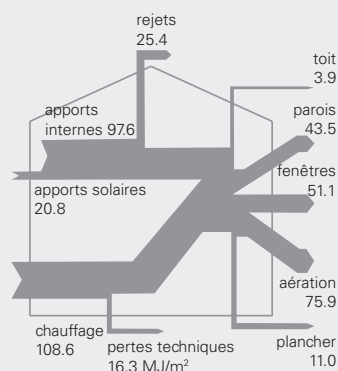


Détail de la partie agrandie, un nouvel «espace extérieur non chauffé» et de la façade nord.



EXISTANT Diagramme de Sankey en [MJ/m²]. La valeur limite SIA 380/1 est de 121.0 MJ/m² et les besoins de chaleur de chauffage (Q_h) sont de 330.4 MJ/m².

Part des pertes par les ponts thermiques: 15.3% (si l'on ne tient pas compte des pertes par aération).



SCÉNARIO D Diagramme de Sankey en [MJ/m²]. La valeur limite SIA 380/1 est de 119 MJ/m² et les besoins de chaleur de chauffage (Q_h) sont de 92.3 MJ/m².

Part des pertes par les ponts thermiques: 18.7% (si l'on ne tient pas compte des pertes par aération).

Coût total (T.T.C.):

Scénario 1: 1'725'000 CHF

Scénario 2: 4'055'000 CHF

Scénario D: 7'225'000 CHF

Coût / m² de SP+SEP (T.T.C.):

Scénario 1: 270 CHF

Scénario 2: 620 CHF

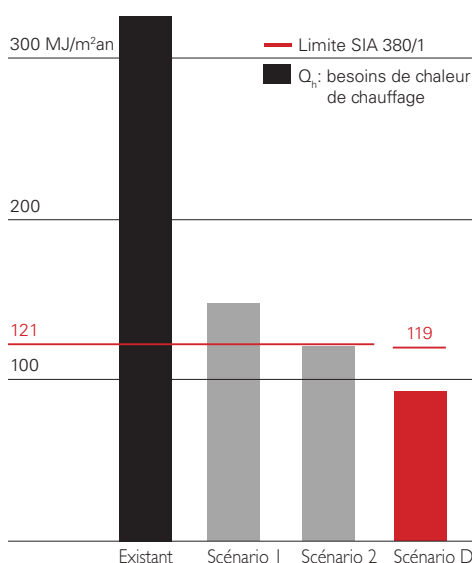
Scénario D: 970 CHF

LES GAINS ÉNERGÉTIQUES ET LES COÛTS

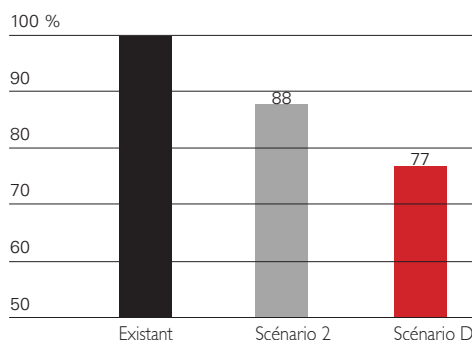
Le scénario 1 (eREN): il intègre la mise en place de vannes thermostatiques, le remplacement des fenêtres, l'isolation de la toiture et des dalles contre les espaces non-chauffés, l'isolation des murs intérieurs contre les espaces non-chauffés et l'isolation du volume d'accès à la toiture. Le scénario n'atteint pas la valeur-limite SIA 380/1. Il apporte un gain énergétique de 183 MJ/m², soit une amélioration de 55 %, avec un investissement financier de 42 % du scénario 2.

Scénario 2 (eREN): il intègre les mesures du scénario et ajoute l'isolation intérieure des murs par des éléments multifonctionnels préfabriqués et l'isolation extérieure du volume d'entrée. Le scénario atteint juste la valeur-limite SIA 380/1 de 121.6 MJ/m². Il apporte un gain énergétique de 210 MJ/m², soit une amélioration de 64 %.

Scénario D (eREN2): il intègre une isolation des façades sud et est avec l'ajout d'une «couche» non chauffée, l'isolation de la façade nord plus importante, le remplacement et l'agrandissement d'une partie des fenêtres, l'isolation de la toiture et des dalles contre les espaces non-chauffés et l'isolation du volume d'accès à la toiture. Le scénario atteint la valeur-limite SIA 380/1 de 119 MJ/m². Il apporte un gain énergétique de 238 MJ/m², soit une amélioration de 72 %.

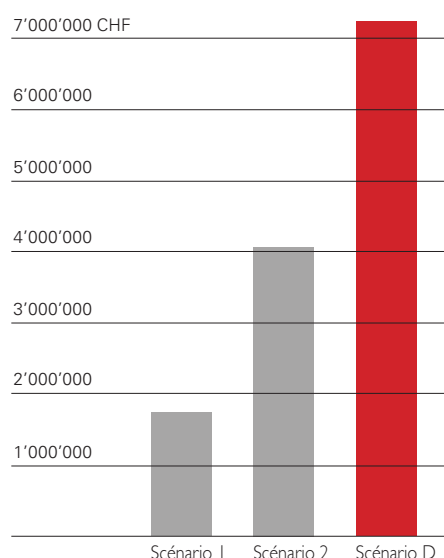


Graphique des besoins de chaleur (Q_h) de l'état existant (en noir) et des scénarios.



CONCLUSION

Le scénario D propose une nouvelle image pour le bâtiment. Il permet de diminuer les pertes par ponts thermiques, en apportant une amélioration énergétique de 11 % par rapport au scénario 2. Les investissements financiers nécessaires sont plus élevés pour une rentabilité plus faible que le scénario 1. Le scénario à l'avantage d'offrir de nouveaux espaces extérieurs plus généreux et de mettre aux normes les dispositifs contre la chute sur les façades sud-ouest et sud-est tout en réduisant la consommation d'énergie. L'intervention par l'extérieur est sans risque physique avec la suppression des balcons existants et ne diminue pas la surface utile à l'intérieur des logements.

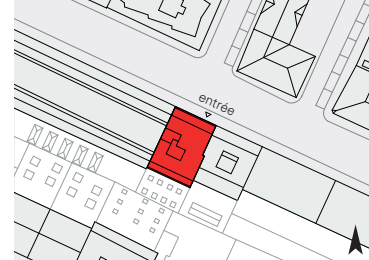


Graphique des coûts financiers pour chaque scénario.

Graphique de rentabilité des scénarios

ÉTAT EXISTANT

Situé dans un quartier très dense du centre-ville de Genève, le bâtiment respecte les réglementations urbanistiques en vigueur. L'immeuble construit en ordre contigu ne propose qu'un type d'appartement: un 4 pièces (y compris cuisine) d'environ 90 m². Les chambres (12 à 14 m²) ainsi que les espaces de jour (30 m²) répondent aux usages actuels. Situé en milieu urbain dense, le bâtiment ne propose aucun espace extérieur à ses habitants (hors la terrasse de l'attique). L'enveloppe du bâtiment ne répond plus aux exigences de confort actuelles: isolation thermique et acoustiques en particulier. La toiture du bâtiment nécessite d'être rénovée. Le bâtiment répond globalement aux exigences en termes de protection incendie (gabarits, voie de fuite). Le scénario développé est le remplacement des façades existantes et la démolition de l'attique existante et la surélévation de deux niveaux sur la dalle de l'attique.



Situation 1: 2'000

0 5 20

Année de construction	1980
Nombre de logements	14
Nombre de logements	15
Surface plancher utile	
SUP+SEU [m ²]	1'465+45
Surface plancher utile (SUP+SEU) [m ²]	1'638+45
Surface plancher brute (SP+SEP) [m ²]	2'456+48
Surface plancher brute (SP+SEP) [m ²]	2'378+48
Surface référence énergétique (SRE) [m ²]	1'421
Surface référence énergétique (SRE) rénovée [m ²]	1'308
Surface référence énergétique (SRE) surélévation [m ²]	396
Besoins de chauffage (Q _n) [MJ/(m ² an)]	402
Besoins de chauffage (Q _n) rénové [MJ/(m ² an)]	92
Besoins de chauffage (Q _n) surélévation [MJ/(m ² an)]	74

En noir, les données de l'état existant, en rouge les données après transformation.

Évaluation du bâtiment existant

Cadre légal

- Urbanistique ●
- Distance de sécurité incendie ●
- Protection patrimoniale —

Vétusté de l'enveloppe

- Toiture | attique ●●
- Façade ●
- Balcon —

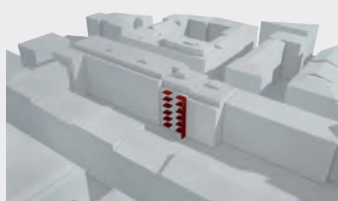
Obsolescence

- Sécurité incendie —
- Exigences énergétiques ●
- Accessibilité aux PMR ●
- Dispositif contre la chute ●
- Typologique ●
- Sécurité sismique ●

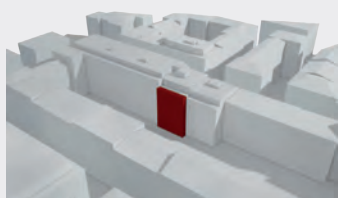
- conforme / bon état
- non-conforme / vétuste
- pas d'information / pas de protection

Extrait de la façade nord-est.

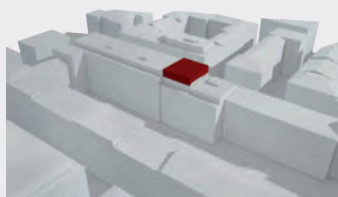




Scénario 01: créer des balcons.



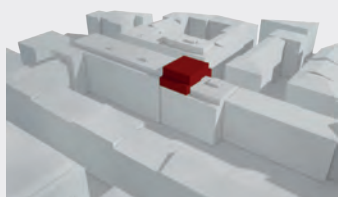
Scénario 02: ajouter une «couche» chauffée.



Scénario 06: surélever l'immeuble de 1 étage.



Scénario 07: surélever l'immeuble de 1 étage et agrandir le volume



Scénario retenu (D) : démolition de l'attique existant pour reconstruire un niveau d'étage courant ainsi que surélévation d'un niveau d'attique.

LES SCÉNARIOS DE DENSIFICATION

Scénario 01

- + répond à un besoin d'usage
- diminution de la lumière naturelle
- n'apporte pas de plus-value thermique
- difficultés à porter

Scénario 02

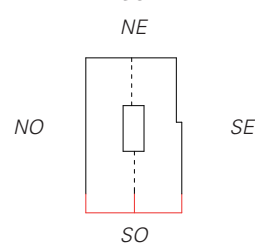
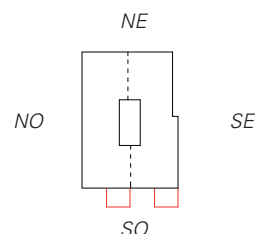
- + augmentation de la surface des pièces de jour
- + amélioration thermique de la façade
- diminution de la lumière dans les logements
- ne respecte pas le règlement urbanistique

Scénario 06

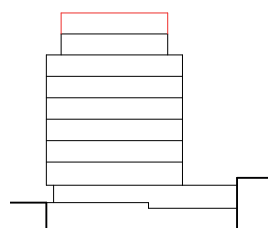
- + augmentation du nombre de logements
- + amélioration thermique de la toiture
- ne respecte pas le règlement urbanistique
- sortie des gaines existantes et prolongation de la cage d'escalier et d'ascenseur en toiture

Scénario 07

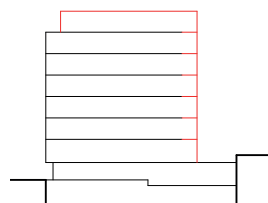
- + amélioration thermique de la façade
- + amélioration thermique de la toiture
- + augmentation du nombre de logement
- + augmentation de la surface des logements
- ne respecte pas le règlement urbanistique
- sortie des gaines existantes et prolongation de la cage d'escalier et d'ascenseur en toiture
- diminution de la lumière naturelle



30 mètres



30 mètres



SCÉNARIO RETENU (D)

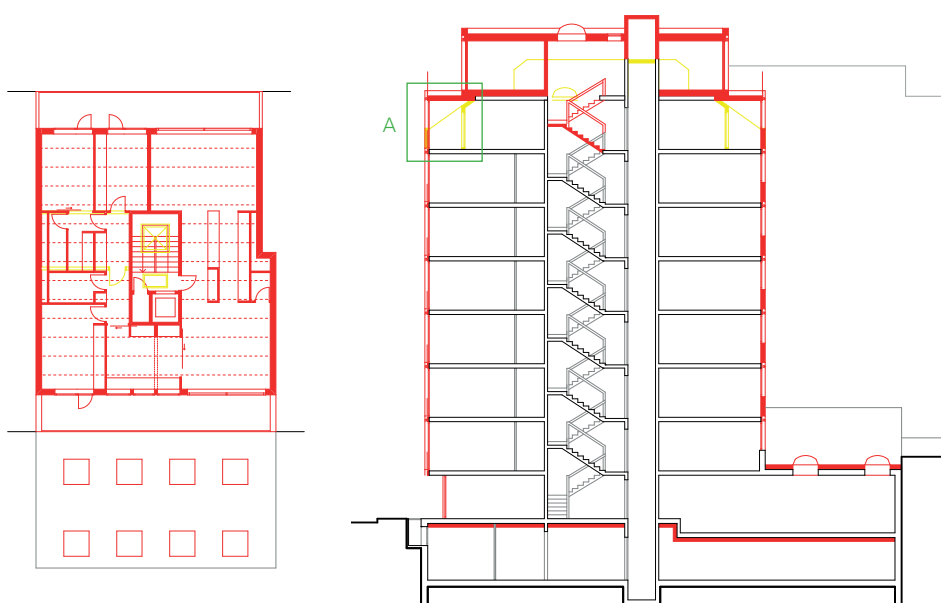
Le scénario retenu consiste à remplacer le niveau de l'attique existant par un niveau d'étage courant au-dessus duquel est prévu un étage de surélévation. Le nouvel étage d'attique propose un logement unique qui permet de diversifier le profil des locataires de l'immeuble. Ce scénario permet d'améliorer la performance thermique des terrasses et toitures du bâtiment qui étaient obsolètes. Toutefois, il n'est pas conforme aux limites de gabarits actuelles.

Murs façade principale: la façade existante est changée au profit d'une nouvelle façade rideau avec 160 mm d'isolation type laine de verre et des fenêtres à triple vitrage.

Murs façade attique: la nouvelle attique est construite en structure bois, privilégiée pour sa légèreté, sa compacité et la possibilité de préfabrication. L'isolation se fait grâce à 310 mm de laine minérale.

Dalle terrasse et toiture: la toiture et les terrasses sont des dalles à caissons en bois isolées. L'isolation se fait grâce à 160 mm de laine minérale. Une couche d'air ventilé au-dessus de l'isolation permet de pallier aux risques liés à la condensation.

Dalle sur sous-sol: la dalle sur sous-sol est isolée contre sa face inférieure avec 200 mm de laine minérale.



Plan (étage 8) et coupe schématiques. En rouge, les éléments de l'enveloppe isolés ou les nouveaux éléments du scénario et en jaune les éléments démolis.

0 1 2 15

Contrecoeur de façade

U_{mes}: 0.59 W/m²K

Ucal existant: 0.64 W/m²K

Ucal rénové: 0.35 W/m²K



- . Verre émaillé 5 mm
- . Isolation dans cassette métallique 160 mm, $\lambda = 0.04$ W/mK
- . Panneau de plâtre gypsé 20 mm

Façade attique

Ucal existant: 2.80 W/m²K

Ucal rénové: 0.15 W/m²K

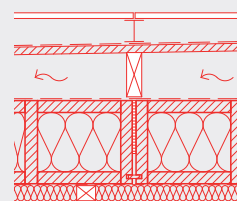


- . Crépi 10 mm
- . Panneau de support 20 mm, $\lambda = 0.045$ W/mK
- . Isolation entre construction bois 100 mm, $\lambda = 0.038$ W/mK
- . Isolation entre construction bois 160 mm, $\lambda = 0.038$ W/mK
- . Pare-vapeur
- . Panneau OSB 20 mm
- . Isolation 50 mm, $\lambda = 0.038$ W/mK
- . Panneau plâtre gypsé 20 mm

Terrasse attique

Ucal existant: 0.89 W/m²K

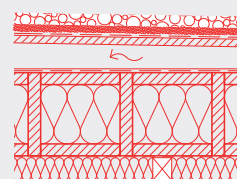
Ucal rénové: 0.24 W/m²K



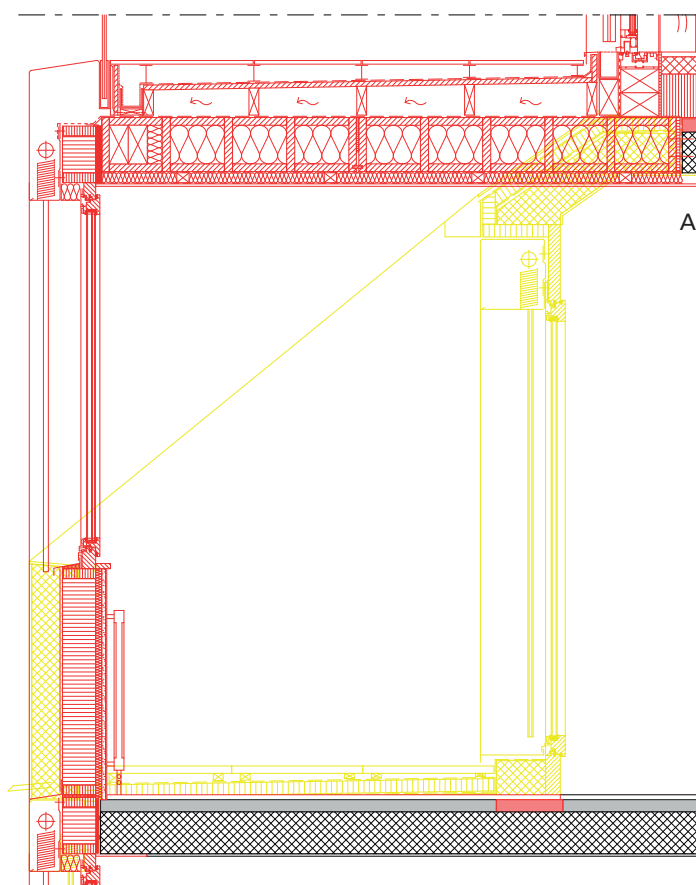
- . Revêtement de terrasse 15 mm
- . Taquets de pose 40-70 mm
- . Etanchéité
- . Panneau bitumineux 20 mm
- . Lattage ventilé 100-140 mm
- . Sous-couverture ouverte à la diffusion de vapeur
- . Dalle à caissons en bois et isolation 220 mm, $\lambda = 0.04$ W/mK
- . Pare-vapeur
- . Lattage bois et isolation 40 mm, $\lambda = 0.04$ W/mK
- . Panneau de plâtre gypsé 10 mm

Toiture

Ucal: 0.22 W/m²K

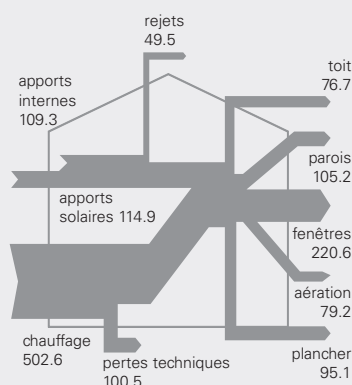


- . Gravier 30 mm
- . Sable 20 mm
- . Etanchéité
- . Panneau bitumineux 20 mm
- . Lattage ventilé 60-90 mm
- . Sous-couverture ouverte à la diffusion de vapeur
- . Dalle à caisson et isolation 230 mm, $\lambda = 0.04$ W/mK
- . Pare-vapeur
- . Lattage et isolation 60 mm, $\lambda = 0.04$ W/mK
- . Panneau plâtre gypsé, 10 mm

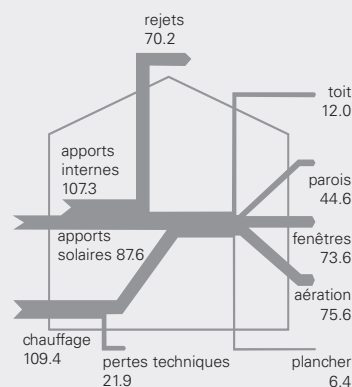


Détail de l'agrandissement de l'attique.

0 10 20 50



EXISTANT Diagramme de Sankey en [MJ/m²]. La valeur limite SIA 380/1 est de 121.7 MJ/m² et les besoins de chaleur de chauffage (Q_H) sont de 402.1 MJ/m².



SCÉNARIO D (pondéré) Diagramme de Sankey en [MJ/m²]. La valeur limite SIA 380/1 est de 112.5 MJ/m² et les besoins de chaleur de chauffage (Q_H) sont de 87.5 MJ/m².

Coût total (T.T.C.):
 Scénario 1: 1'700'000 CHF
 Scénario 2: 1'595'000 CHF
 Scénario D: 3'215'000 CHF

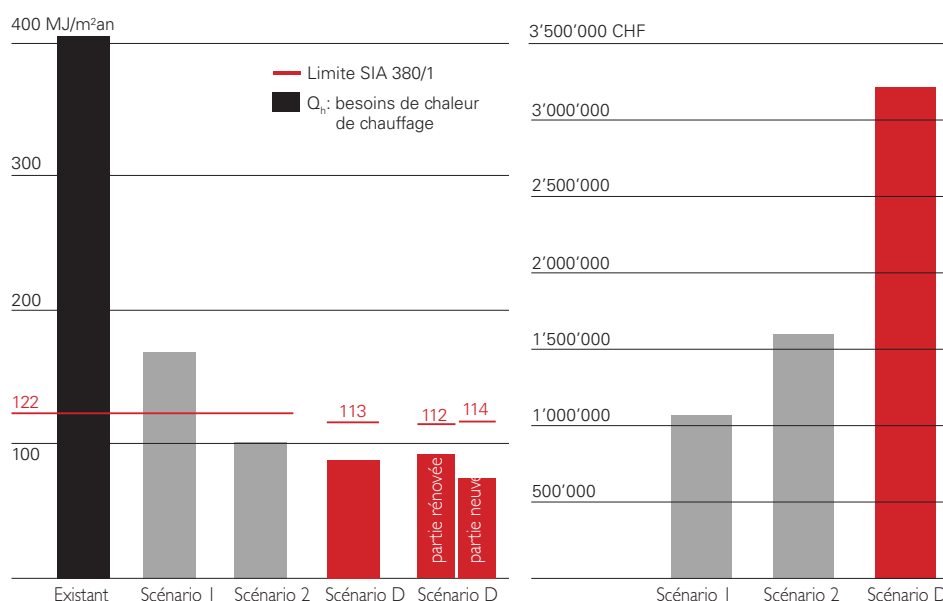
Coût / m² de SP+SEP (T.T.C.):
 Scénario 1: 485 CHF
 Scénario 2: 725 CHF
 Scénario D: 1'325 CHF

LES GAINS ÉNERGÉTIQUES ET LES COÛTS

Le scénario 1 (eREN): il prévoit l'isolation des deux façades principales par l'intérieur, le changement des verres de fenêtre, l'isolation des terrasses et de la toiture du bâtiment, l'isolation des façades du rez-de-chaussée par l'intérieur, l'isolation sous dalle du rez-de-chaussée. Il apporte un gain énergétique de 234 MJ/m², soit 58%, pour un investissement de 67% des coûts totaux du scénario 2. Il ne respecte pas la valeur limite édictée par la norme SIA 380/1.

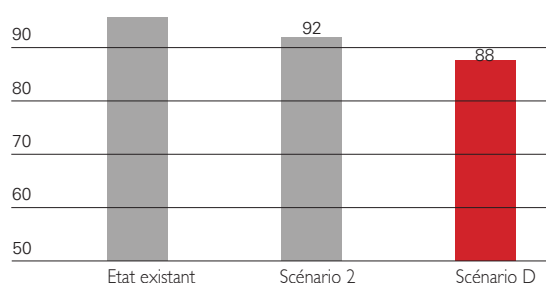
Scénario 2 (eREN): il reprend les mesures du scénario 1 pour ce qui est de l'isolation des terrasses d'attique, de la toiture et du rez-de-chaussée. Par contre le remplacement intégral des éléments de façade est prévu. Ce scénario permet d'atteindre la valeur limite. Il apporte un gain énergétique de 301 MJ/m², soit 74%.

Scénario D (eREN2): il reprend la stratégie du scénario 2 pour ce qui est des façades et de l'isolation sous dalle du rez-de-chaussée. L'attique existant du bâtiment est transformé entièrement, le convertissant en étage courant (alignement aux façades principales). Un nouvel attique est créé en surélévation habillant le bâtiment d'une nouvelle toiture performante. Avec un besoin de chaleur de 87.5 MJ/m², le scénario atteint largement la valeur limite SIA 380/1 de 112.5 MJ/m². Il apporte un gain énergétique de 314.6 MJ/m², soit une amélioration de 78%.



Graphique des besoins de chaleur (Q_H) de l'état existant (en noir) et des scénarios.

Graphique des coûts financiers pour chaque scénario.



Graphique de rentabilité des scénarios.

CONCLUSION

La surélévation de ce bâtiment constitue une réponse classique appliquée déjà plusieurs fois dans le quartier. Dans ce cas le gain thermique supplémentaire en lien avec la surélévation (3,5% en plus par rapport au scénario d'assainissement seul) est faible mais le projet permet de proposer de nouvelles surfaces de logement de qualité dans une zone déjà très dense et où la demande est forte. L'investissement est élevé en valeur absolue et par m² de surface locative nouvellement créée (chantier à la logistique complexe pour une faible surface supplémentaire) et le rendement calculé pour le projet de densification est très proche de l'assainissement seul.