



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

en collaboration avec

Laboratoire d'énergie solaire et physique du bâtiment, IGT-LesBAT  
Haute école d'ingénierie et de gestion du canton de Vaud  
Avenue des Sports 20 – CH-1401 Yverdon-les-Bains  
igt@heig-vd.ch

Institut Systèmes industriels – Efficience énergétique  
Haute école d'ingénierie – HES-SO Valais-Wallis  
Route du Rawyl 47 – CH-1950 Sion  
info.isi@hevs.ch

### ÉQUIPE DE PROJET

Stefanie Schwab, responsable de projet (institut TRANSFORM)  
Jean-Luc Rime, Grégory Jaquerod (institut TRANSFORM)  
Lionel Riquet, Guillaume Rey, Reto Camponovo, Peter Gallinelli, institut (inPACT)  
Stéphane Citherlet, Didier Favre, Blaise Périsset (institut IGT-LesBAT)  
Gilbert-André Morand, Sébastien Dervev (institut Systèmes industriels – Efficience énergétique)

### IMPRESSION

Imprimerie St-Paul à Fribourg  
80 exemplaires imprimés en juin 2016, 1'000 exemplaires réimprimés en février 2017.  
Cette publication est composée d'une brochure et 10 fiches d'études de cas.

© 2017 l'éditeur  
ISBN 978-2-9701005-2-2

# TABLE DES MATIÈRES

Impressum	02
Table des matières	03
Abstract	05
01 Une approche globale	07
02 Le bâti existant	09
03 Les modèles de bâtiments	15
04 Les caractéristiques architecturales	23
05 Les bilans thermiques	25
06 La physique et les ponts thermiques	31
07 Économie	35
08 Les co-bénéfices et co-pertes	41
09 Une alternative à «l’emballage»	43
10 Check-list	45
Lexique	47
Bibliographie	49
Abstract allemand – anglais	51
Les 10 études de cas – fiches synthétiques	
étude de cas 01 – 1901	57
étude de cas 02 – 1911	61
étude de cas 03 – 1939	65
étude de cas 04 – 1960	69
étude de cas 05 – 1970	73
étude de cas 06 – 1972	77
étude de cas 07 – 1975	81
étude de cas 08 – 1971	85
étude de cas 09 – 1980	89
étude de cas 10 – 1988	93



# ABSTRACT

## MÉTHODES ET OUTILS POUR LA RÉNOVATION ÉNERGÉTIQUE DE L'ENVELOPPE DES IMMEUBLES D'HABITATION.

L'assainissement énergétique des immeubles d'habitation est un enjeu majeur de la stratégie énergétique 2050 de la Confédération suisse. Malgré la volonté politique, le taux de rénovation énergétique reste relativement limité et le rythme ne semble pas s'accélérer. Parmi les obstacles le coût des travaux, le faible prix de l'énergie, les difficultés techniques, les questions patrimoniales, la disponibilité de spécialistes qualifiés, ou la pénurie de logements.

Les interventions ponctuelles sans vision d'ensemble sont la norme. Lorsqu'un projet complet est mené à bien, il se résume souvent à une mise à jour des installations techniques, un remplacement des fenêtres et une isolation périphérique. Ces solutions peut-être valables sur le plan énergétique posent souvent des questions constructives, patrimoniales, de physique du bâtiment ou encore de durabilité.

eREN a mené un travail sur l'enveloppe des bâtiments basé sur une approche globale et interdisciplinaire cherchant le meilleur équilibre entre efficacité énergétique, aspects constructifs et de physique du bâtiment, économie, co-bénéfices et co-pertes et valeur patrimoniale.

Les typologies constructives des bâtiments d'habitation collective en Suisse romande entre 1900 à 1990 ont été recensées. Cinq époques caractéristiques ont été retenues : avant-guerre (1900 – 1920), entre-deux-guerres (1921 – 1945), après-guerre (1946 – 1960), haute conjoncture (1961 – 1975) et après crise pétrolière (1975 – 1990), époque à partir de laquelle une prise de conscience au sujet de la consommation d'énergie a vu le jour, débouchant sur les premières normes en matière d'énergie du bâtiment.

Chacune de ces époques présente des caractéristiques architecturales et constructives propres. Quinze typologies (modèles) ont été identifiées, représentatives de la production de logements collectifs du 20<sup>e</sup> siècle en Suisse romande. Chacune est différente et mérite d'être considérée avec respect. Intervenir sur un bâtiment existant (même banal) présente des enjeux patrimoniaux : le bâti ordinaire a toute son importance dans la définition de l'identité de la ville. Et l'application de solutions insuffisamment réfléchies peut être à l'origine de nombreux problèmes.

Dix bâtiments représentatifs des typologies les plus courantes ont été sélectionnés pour faire l'objet d'une étude de cas. L'état existant a été analysé, puis une stratégie générale d'intervention a été choisie pour chaque cas :

- préserver les caractéristiques
- reconstruire les caractéristiques
- ajouter de nouveaux éléments ou modifier l'image

Plusieurs scénarios ont été développés pour chaque cas visant à répondre à la stratégie adoptée tout en satisfaisant aux exigences énergétiques fixées par la norme SIA 380/1 éd. 2009.

Chaque scénario a été testé en matière thermique dans une série d'allers et retours entre architectes et ingénieurs qui ont débouché pour chacun des dix bâtiments sur une solution satisfaisant les cinq critères définis. Les scénarios ont été chiffrés afin de compléter l'étude sur le plan économique. Tous atteignent les exigences normatives en préservant le caractère architectural quand cela s'imposait pour un coût comparable aux solutions plus communément mises en œuvre, telles un crépi sur une isolation périphérique. Rénovation énergétique respectueuse de la substance architecturale du bâtiment à un coût abordable ne rime donc pas avec mission impossible. Ce résultat a pu être atteint grâce à une collaboration intense entre les différents spécialistes qui implique un investissement que souvent les propriétaires hésitent à consentir, bien qu'il ne représente qu'une fraction relativement faible du coût total.

L'étude montre aussi que les coûts d'une rénovation énergétique demeurent très élevés en regard des gains que l'on peut espérer réaliser sur l'économie d'énergie, au tarif actuel de cette dernière.

Il est vrai que le volet énergétique de la rénovation est souvent inclus dans un projet visant à revaloriser un immeuble qui nécessite de toute façon des travaux pour des questions de salubrité, de vétusté ou pour la mise en valeur d'un potentiel inexploité. Il n'en demeure pas moins que dans de nombreux cas où le bâtiment a été entretenu et où les

perspectives d'augmentation des loyers sont faibles, une rénovation énergétique a peu de chances d'être entreprise, faute d'incitation économique suffisante.

L'obligation d'atteindre les valeurs sévères prescrites par la norme SIA 380/1 éd. 2009 dans le cadre de la rénovation peut même avoir l'effet pervers de décourager le propriétaire d'entreprendre certains travaux qui amélioreraient notablement la situation à moindre coût sans pour autant atteindre les limites légales. Le durcissement des valeurs cibles pour la rénovation qui a commencé avec la révision de 2009 de la norme et qui va selon toute vraisemblance se poursuivre pourrait encore amplifier le décalage entre des intentions en soi louables et le taux de rénovation.

Finalement, inscrire dans la loi l'obligation d'assainir l'enveloppe des bâtiments à court ou moyen terme pourrait impliquer des coûts très élevés que de très nombreux propriétaires ne seraient pas à même d'assumer, faute de fonds de rénovation suffisant. Les collectivités publiques sont d'ailleurs confrontées au même défi. Force est aussi de constater que tant les mandataires que les entreprises spécialisées de qualité feraient défaut devant l'immensité de la tâche.

Ces conclusions peuvent sembler négatives. Elles ne le sont que si l'on s'arrête à ce constat en baissant les bras. Nous pensons que les pistes existent pour infléchir le cours des choses :

- la réglementation et également les labels qui ont été jusque-là axés principalement sur les constructions neuves doivent beaucoup mieux prendre en compte les spécificités de la rénovation du bâti existant et de ses limites.
- l'information, l'incitation et l'obligation doivent être menées de front intelligemment et avec une vision à long terme, à l'échelle de la durée de vie des bâtiments. L'implication des spécialistes des différents domaines et la prise en compte des particularités du système politique suisse sont de mise afin d'éviter les écueils.
- l'effort de formation dans le domaine auprès des professionnels, des entreprises, des apprentis et étudiants doit être renforcé pour que la rénovation énergétique bénéficie de professionnels qualifiés.

Le jeu en vaut la chandelle. Et quoi qu'il en soit, avons-nous le choix ?

## **METHODEN UND WERKZEUGE FÜR DIE ENERGETISCHE SANIERUNG DER GEBÄUDEHÜLLE**

Die energetische Sanierung des Gebäudebestands ist ein wesentliches Ziel der Energiestrategie 2050 des Bundes. Aufgrund der Komplexität der Aufgabe, wirtschaftlichen Hemmnissen, dem Mangel an gut ausgebildeten Fachleuten und den häufig nicht kommunizierenden Teildisziplinen sind kohärente Sanierungen selten. Um schlüssige Sanierungskonzepte zu entwickeln, benötigt es historische, architektonische, energetische, technische und ökonomische Kompetenzen. Die typologische Vielfalt im Gebäudebestand verlangt Lösungen, die die architektonischen und konstruktiven Eigenarten des Gebäudes berücksichtigen.

Mit Fallstudien typischer Mehrfamilienhäuser der Westschweiz werden die Möglichkeiten und Grenzen einer energetischen Sanierung der Gebäudehülle aufgezeigt und ein Hilfsmittel für zukünftige Gebäudesanierungen zur Verfügung gestellt. Eine vollständige Übersetzung der Zusammenfassung befindet sich am Ende der Publikation.

## **METHODS AND TOOLS FOR ENERGY-EFFICIENT RETROFITTING OF BUILDING ENVELOPE**

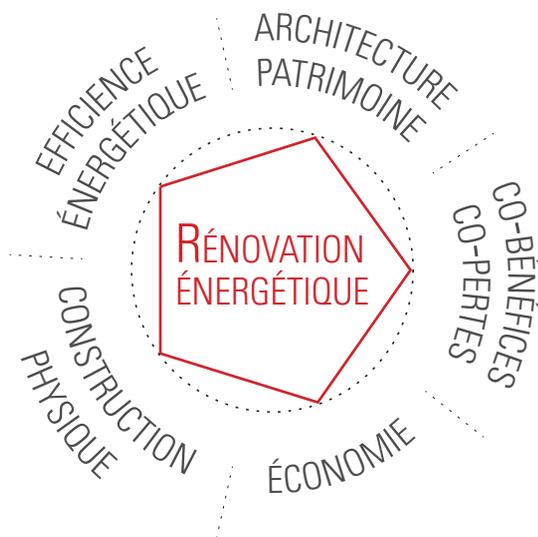
The energy refurbishment of housing is a key issue of the Swiss government's « 2050 Energetic strategy ». eREN is focusing on the envelope of existing housing in Western Switzerland and is based on a global approach aiming at achieving well-balanced solutions between energy efficiency, constructive feasibility, building physics, cost and preservation of the architectural heritage. Ten multi-dwelling buildings characteristic of the most common constructive typologies have been selected and used as case studies. Their current state has been analysed and refurbishment scenarios have been developed for each of them. In every case a scenario could be elaborated that complies with the legal requirements of SIA 380/1 (2009) at a cost comparable to more standard solutions, like rendered perimeter insulation. This result was obtained thanks to an intense collaboration between the various specialists working on the project. A complete translation of the abstract is available at the end of the brochure.

## UNE APPROCHE GLOBALE

Le chauffage de 1,64 millions d'immeubles d'habitation représente une part importante de la consommation d'énergie en Suisse. La rénovation énergétique du parc immobilier national existant est l'un des enjeux principaux de la stratégie énergétique 2050 qui prévoit un renforcement du programme d'incitation à l'assainissement des bâtiments. Pourtant, malgré la volonté politique, le taux de rénovation énergétique reste relativement limité. Parmi les obstacles, on relèvera le coût important des travaux, le prix peu élevé de l'énergie, les difficultés techniques et administratives, les questions patrimoniales, la disponibilité des mandataires et entreprises qualifiés, ou encore la pénurie de logements qui rendent difficiles des interventions lourdes exigeant de reloger les locataires.

L'assainissement énergétique à l'échelle d'un bâtiment concerne principalement les techniques du bâtiment (production et distribution de chaleur, ventilation, électricité) et l'enveloppe thermique (façades et toitures). Le périmètre de l'étude eREN est concentré sur les questions d'enveloppe.

La rénovation énergétique des enveloppes des bâtiments exige des connaissances dans les domaines historique, architectural, énergétique, technique et économique. Connaissances qui ne se retrouvent que rarement réunies chez une seule personne. Dans le cas de bâtiments d'habitation remarquables (taille, protection patrimoniale acquise, représentativité), l'implication de spécialistes maîtrisant ces connaissances est souvent acquise, ce qui contribue en général à la formulation de solutions de rénovation énergétique et architecturale adaptées et équilibrées. Mais, dans le cas de bâtiments plus ordinaires, ces travaux sont souvent entrepris sans recourir à des mandataires ou des entreprises spécialisés. La plupart des propriétaires ou des gestionnaires, confrontés à l'obsolescence ou à la vétusté des immeubles, engagent une réflexion au sujet de leur rénovation dont le volet énergétique fait forcément partie. Par méconnaissance de la complexité de la tâche, des options disponibles et par volonté de minimiser l'investissement, ils font l'économie d'une étude globale et sérieuse (qui pourtant ne représente qu'une fraction très raisonnable du coût total) et réalisent des rénovations se limitant à des interventions ponctuelles (changement de fenêtres ou isolation de la toiture par exemple) ou mettant en œuvre des solutions convenues (en particulier l'isolation périphérique des façades).



**Des interventions ponctuelles, non réfléchies au niveau du détail constructif, risquent d'affecter l'image architecturale et de diminuer la valeur culturelle et la qualité urbanistique du parc immobilier.**

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

Les risques d'une telle démarche sont doubles, architecturaux et techniques. D'un côté, chaque bâtiment, témoin de son époque de construction, participe à l'image de la ville et à son identité forgée par des développements successifs. Des interventions ponctuelles non réfléchies au niveau du détail constructif ou l'emballage systématique en isolation périphérique modifient l'image du bâtiment au risque d'en diminuer la valeur culturelle et de provoquer une perte des repères et de qualité du tissu urbain. Ce tissu résulte non seulement des caractéristiques morphologiques de la ville ou du quartier, mais aussi de l'image que renvoient les bâtiments et de l'histoire qu'ils racontent.

**Le projet eREN propose une approche globale et interdisciplinaire pour les projets de rénovation d'enveloppes de bâtiment. Il cherche un équilibre entre l'efficacité énergétique, la protection des valeurs architecturales, le confort des usagers, la physique du bâtiment et les coûts.**

De l'autre côté, les différents outils de rénovation énergétique existants négligent les spécificités des bâtiments et leurs détails architecturaux. En ignorant les problèmes liés à la physique du bâtiment (ponts thermiques, détails des raccords, ventilation insuffisante, condensation), l'assainissement ponctuel provoque des dégâts et met en péril la substance du bâtiment sans forcément garantir l'atteinte de l'objectif principal : l'amélioration de l'efficacité énergétique. Par ailleurs, certaines solutions, mises en relation aux éléments qu'elles remplacent ou recouvrent posent de véritables questions de durabilité.

Ce type d'intervention a été d'abord encouragé et ensuite abandonné par les administrations publiques qui ont constaté ses conséquences négatives sur le parc immobilier courant.

La diversité des typologies urbaines, architecturales et constructives demande des solutions intégrées, prenant en compte l'ensemble des paramètres, quitte à ce que des arbitrages soient faits, mais en connaissance de cause.

Le projet eREN propose une approche globale et interdisciplinaire pour les projets de rénovation d'enveloppes de bâtiments, cherchant un équilibre entre l'efficacité énergétique, la protection des valeurs urbaines, architecturales et patrimoniales, le confort des usagers et les coûts, tout en évitant de graves erreurs techniques provoquées par une méconnaissance de la physique du bâtiment. Le projet, mené par une équipe d'architectes et d'ingénieurs incluant des compétences dans le domaine économique, a pour objectif principal de confronter sans à priori les solutions actuellement retenues par beaucoup comme étant les seules à être performantes sur les plans techniques et économiques à d'autres alternatives, moins convenues, mais parfois mieux adaptées aux enjeux et aux caractéristiques de l'ouvrage.

En d'autres termes : existe-t-il des alternatives plus respectueuses de la substance architecturale que l'emballage systématique en isolation périphérique pour atteindre les niveaux de consommation d'énergie prescrits par les normes ? Ces alternatives sont-elles économiquement réalistes ? Quelle approche méthodologique permet d'y parvenir ?

Le projet eREN a pour but d'identifier les caractéristiques et les problématiques des principales typologies constructives des immeubles d'habitation en Suisse romande, construits entre 1900 et 1990 qui représentent la majorité du parc bâti, et de proposer des scénarios de rénovation énergétique adaptés, basés sur des cas d'étude réels. Ces scénarios ont été développés de manière itérative dans un va-et-vient permanent entre les différents spécialistes participant à l'étude. Cette méthode s'est avérée la seule à même de dégager des solutions répondant aux exigences énergétiques, de la physique du bâtiment, constructives, architecturales, d'économie de moyens et de rentabilité. Les cas réels étudiés montrent les contraintes et les limites d'un exercice d'assainissement énergétique global ainsi que les co-bénéfices et co-pertes que l'on peut en retirer.

En développant des outils d'aide et de réflexion pour la rénovation énergétique des principaux types d'immeubles d'habitation en Suisse romande, le projet constitue un cadre de référence accessible aux principaux acteurs pour leur permettre d'agir ensemble avec efficacité dans le cadre d'une rénovation énergétique tout en tenant compte des valeurs d'usage et culturelles du bâtiment à rénover.

Public cible : propriétaires et gestionnaires de parc immobiliers, professionnels, services cantonaux et communaux des travaux publics et de l'énergie, étudiants.

# LE BÂTI EXISTANT

## LES BÂTIMENTS D'HABITATION

L'étude prend en compte les bâtiments d'habitation situés en Suisse romande dans les cantons de Vaud, Fribourg, Genève et du Valais. Pour les cantons concernés, les bâtiments de plus de trois logements avec ou sans usage annexe<sup>1</sup> ont été considérés. Selon les cantons, ils représentent 17 à 35 % des bâtiments mis en comparaison avec les maisons individuelles. Cependant, ils regroupent entre 72% et 89% du nombre des logements [voir figure 02].

Dans les quatre cantons considérés, les immeubles d'habitation avec plus de trois logements et plus de trois étages sont environ 47'000<sup>2</sup>. Leur répartition par périodes de construction montre que, dans les cantons de Vaud, Fribourg et Genève, une part importante (24 à 34% selon les cantons) de ces bâtiments sont construits avant 1919. Puis suit le nombre de bâtiments construits entre 1961 à 1970. En ce qui concerne le canton du Valais, la part des bâtiments construits depuis 1960 est la plus importante [voir figure 03].

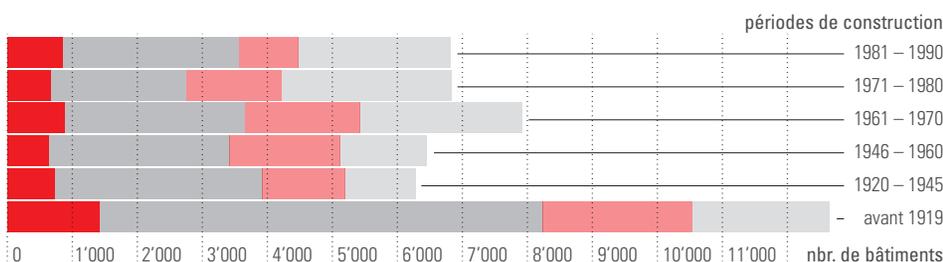


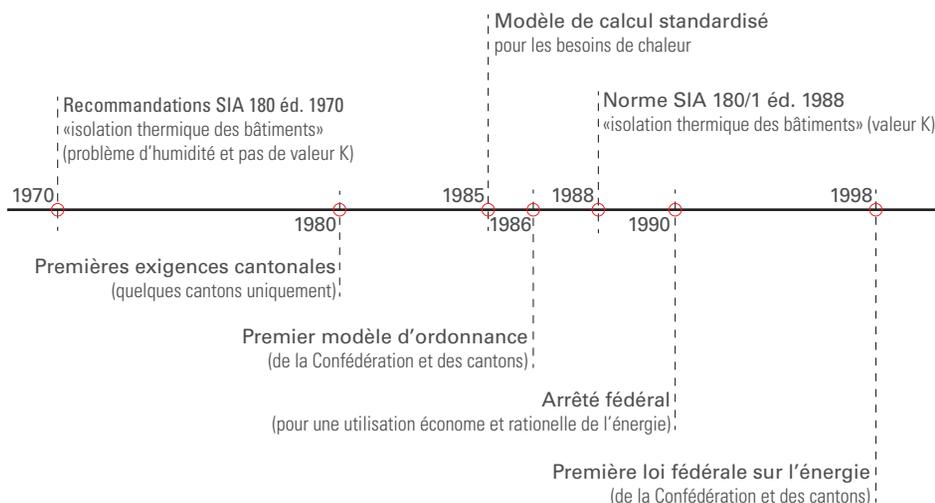
Fig. 02 Part des logements dans les maisons individuelles (rouge) et des logements dans les bâtiments à plus de trois logements (gris) selon les cantons.

Fig. 03 Bâtiments de plus de trois logements et plus de trois étages selon les périodes de construction dans les cantons de :

● FR ● VD ● GE ● VS

## LES PÉRIODES DE CONSTRUCTION

Cinq périodes marquantes pour la construction de logements en Suisse romande ont été identifiées. Les trois premières périodes se basent sur la classification de la statistique des bâtiments et des logements (StatBL) de l'OFS, soit une première période « avant-guerre » pour les constructions avant 1920, une seconde considérant l'« entre-deux-guerres » de 1921 à 1945 et une troisième « après-guerre » de 1946 à 1960. Le choc pétrolier (1971-1973) et l'apparition des premières réglementations énergétiques ont défini la fin d'une quatrième période de « haute conjoncture » de 1961 à 1975 et la cinquième période « après crise pétrolière » de 1976 à 1990. En effet, avant 1980 et les premières lois cantonales sur l'énergie, il n'y avait que des recommandations, celles de la norme SIA 180 éditée en 1970 [voir figure 04].



- 1 Statistique des bâtiments et des logements (StatBL) de 2013 de l'OFS [voir lexique].
- 2 StatBL, OFS [voir note 1].
- 3 SIGRIST, Donald, KESSLER, Stefan, *Effets des lois cantonales sur l'énergie : analyse de l'efficacité conformément à l'art. 20 LEne, actualisation pour l'année 2012*, Office fédéral de l'énergie, Ittigen, 2013.

Fig. 04 Graphique de l'apparition des premières réglementations énergétiques en Suisse<sup>3</sup>.

- 4 SCHWEHR Peter, FISCHER Robert, *Building Typology and Morphology of Swiss Multi-Family Homes*, Hochschule Luzern, 2010.
- 5 BUSSET Thomas, GARNIER Alain, JOYE Dominique, SCHULER Martin, *Une typologie exploratoire des bâtiments*, école polytechnique de Lausanne, 1994.
- 6 Source des bâtiments : revue « Habitation », « Bulletin technique de la construction », recensement des logements économiques du canton de Genève, accès aux données du parc immobilier de divers propriétaires.

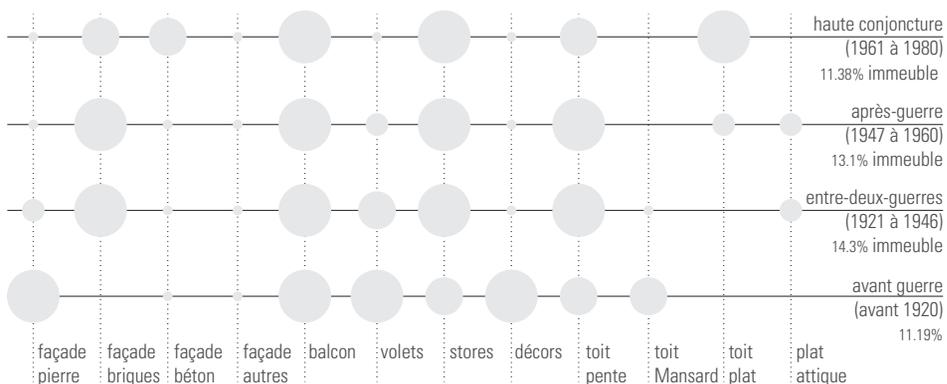
Fig. 05 Synthèse des résultats pour les immeubles de la ville de Lausanne basé sur l'étude<sup>5</sup> « Une typologie exploratoire des bâtiments ».



## LES CARACTÉRISTIQUES MORPHOLOGIQUES

Peu d'études traitent les caractéristiques constructives des bâtiments d'habitation collectifs en Suisse romande. Une étude de la Haute École de Lucerne, « Building Typology and Morphology of Swiss Multi-Family Homes, 1919-1990 »<sup>4</sup>, a recensé ces bâtiments selon leur situation dans l'environnement bâti en Suisse alémanique. Elle nous apporte peu de renseignements sur les caractéristiques constructives et architecturales des bâtiments. Elle traite principalement l'implantation et la volumétrie des édifices.

Une étude de l'Institut de recherche sur l'environnement construit du département de l'architecture de EPFL<sup>5</sup> a analysé la constitution du parc immobilier suisse selon une approche typologique de l'habitat. Les villes de Lausanne [voir figure 05], Berne et Genève ont été considérées. Les résultats pour la ville de Lausanne, bien qu'ils soient moins détaillés, confirment les résultats issus de notre recensement.



### L'analyse des caractéristiques se base sur l'étude de 193 bâtiments.

Afin de définir des modèles de bâtiments et de sélectionner des études de cas pertinentes et représentatives, 193 bâtiments d'habitation collectifs (Fribourg 54, Vaud 90 et Genève 49), issus de diverses sources<sup>6</sup>, ont été classés selon des critères permettant de mettre en évidence les caractéristiques architecturales et constructives des bâtiments.

Les caractéristiques morphologiques telles que la situation dans le bâti, le nombre d'étages et le nombre de logements ont été considérées. Elles ont servi à sélectionner des bâtiments pertinents par leur implantation et leur volumétrie selon les périodes.

Fig. 06 Part des bâtiments contigus (rouge) et non-contigus (noir) selon les périodes de construction.

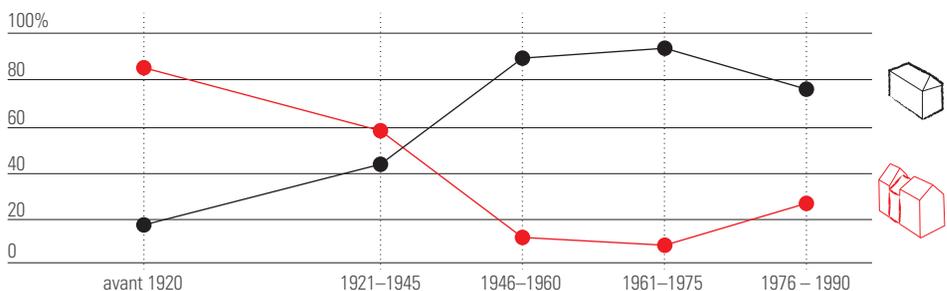
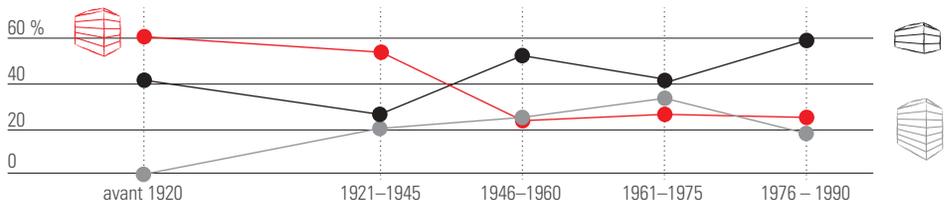


Fig. 07 Part des bâtiments selon le nombre d'étages et les périodes de construction.



Ainsi la classification a permis de mettre en évidence que les bâtiments contigus ou en fin d'îlots bâtis sont fortement représentés avant 1920 et majoritaires jusqu'en 1945. Ils disparaissent presque totalement entre 1946 et 1975. Dès 1975, les grandes barres de logements sont composées d'une addition de parties de bâtiment que l'on peut assimiler à des immeubles mitoyens [voir figure 06]. Les bâtiments de 7 étages et plus ne se rencontrent que rarement avant les années 1920, alors que les bâtiments entre 5 et 6 étages sont nombreux (60%) dans cette période [voir figure 07].

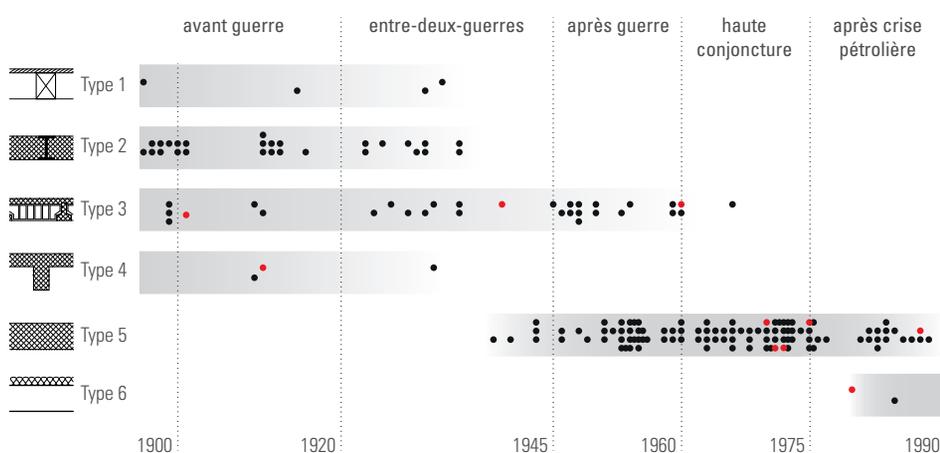


## LES CARACTÉRISTIQUES ARCHITECTURALES ET CONSTRUCTIVES

Dans le cadre du projet de recherche, les caractéristiques architecturales considérées ont été la forme de la toiture, les particularités des raccords entre la toiture et les façades (attique, avant-toit, etc.), la matérialité des embrasures, le type de protection solaire, la position des espaces extérieurs, les éléments de décor architectural (bandeaux, moulures, etc.)

La composition des façades, la composition des planchers sur sous-sol, des étages et des combles, les fenêtres et leur vitrage, la construction des dalles des espaces extérieurs, la position de la protection solaire sont les caractéristiques constructives analysées. La mise en œuvre de ces éléments répond à des méthodes largement répandues en Suisse romande et les rendant souvent interdépendants.

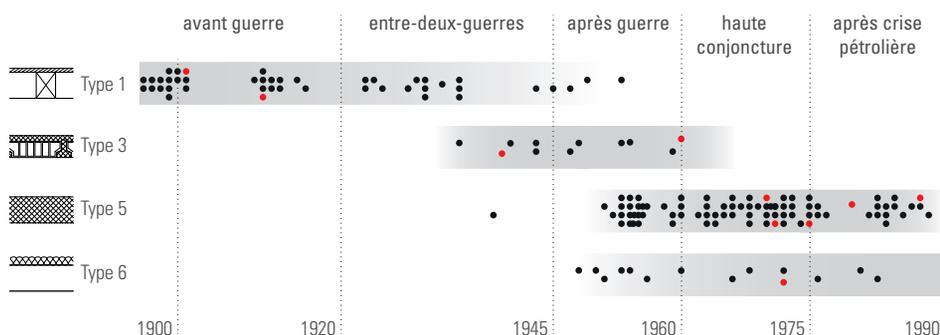
**Les planchers sur les espaces non chauffés** sont des dalles en ciment avec des poutrelles métalliques jusque dans les années 30. Les dalles nervurées en ciment ou les planchers en bois se rencontrent parfois avant la Première Guerre. Les dalles en corps creux (hourdis) de ciment ou de terre cuite sont utilisées jusqu'à la fin des années 60. Les dalles en béton sont utilisées fréquemment sur les sous-sols dès les années 50. Jusqu'aux années 90, l'isolation des dalles sur sous-sol est rare.



- T01 : plancher en bois
  - T02 : dalle en ciment avec poutrelles métalliques
  - T03 : corps creux en terre cuite ou ciment avec poutrelles
  - T04 : dalle en ciment avec nervures
  - T05 : dalle en béton
  - T06 : dalle/plancher avec isolation
- bâtiments des études de cas  
● 193 bâtiments recensés

Fig. 08 Répartition des bâtiments dans le temps et selon la composition de leurs planchers sur les espaces non chauffés.

**Les planchers des étages** sont majoritairement en bois jusqu'aux années 40. Ils sont utilisés pour le plancher des combles jusqu'aux années 50. La dalle en corps-creux, utilisée depuis les années 30, disparaît dans les années 60. Elle laisse la place à la dalle en béton, majoritairement utilisée depuis les années 50. Les premières faibles isolations de la dalle des combles apparaissent vers le milieu des années 40. Mais elles ne seront réalisées que rarement jusqu'à la fin des années 80.



- T01 : plancher en bois
  - T03 : corps creux en terre cuite ou ciment avec poutrelles
  - T05 : dalle en béton
  - T06 : dalle/plancher avec isolation
- bâtiments des études de cas  
● 193 bâtiments recensés

Fig. 09 Répartition des bâtiments dans le temps et selon la composition de leurs planchers des combles.

**La composition des façades** a évolué avec le temps. Les épais murs massifs de pierre, de moellons ou de briques mesuraient de 45 à 70 cm selon les étages jusque dans les années 30. « L'introduction des dalles massives changea l'aspect statique de la construction. Les parois de séparation, non chargées dans le cas des plafonds à poutres de bois ou de fer,

- 7 ASSOCIATION SUISSE DES FABRICANTS DE BRIQUES ET TUILES, « La maçonnerie », *Element*, Association suisse des fabricants de briques et de tuiles, Faktor Verlag, Zürich, 3 (1960).
- 8 « En 1947, la coopérative de St-Gall construit 28 appartements avec ce système, mais il ne sera que rarement utilisé dans les immeubles de Suisse romande. L'épaisseur d'isolation est mise en œuvre selon un calcul prioritairement économique. Une épaisseur de 8 cm d'isolation paraît alors exagérée. »<sup>6</sup>
- 9 L'HÔTE Paul, BOGET Emile, *La façade en béton préfabriqué*, Association Suisse des Professionnels du Béton Préfabriqué, Zürich, 1985.
- 10 Une partie des types de façades se basent sur le catalogue des éléments de construction avec calcul de la valeur U – Assainissement, MARTI Kurt, Office fédéral de l'énergie (OFEN), Bern, 2002.
- 11 [voir définition dans le lexique]
- 12 [voir définition dans le lexique]
- 13 [voir définition dans le lexique]
- 14 [voir définition dans le lexique]
- 15 [voir définition dans le lexique]

n'étaient plus un poids mort. Elles devinrent des éléments porteurs en déchargeant les murs de façade, on pouvait en réduire l'épaisseur. »<sup>7</sup> Les murs se sont progressivement affinés, « d'abord on descendit prudemment à 25 cm<sup>7</sup> ». « Comme l'isolation devint insuffisante, on y para en ajoutant une maçonnerie à l'intérieur (planches de plâtre, plaques de ponces, de scories, etc.) en prenant soin de créer un espace d'air entre les deux parois. »<sup>7</sup> Depuis la fin des années 40, les murs porteurs extérieurs avec un vide d'air et un doublage intérieur sont très répandus dans les cantons étudiés. « Pour des hauteurs importantes, on faisait des séparations horizontales dans l'espace vide à l'aide de rouleaux de vieux papier pour atténuer les mouvements de convection. Il y avait peu d'avantage par rapport à l'ancien mur massif (poids identique, épaisseur identique, isolation thermique à peine améliorée et prix plus élevé). »<sup>7</sup> La fibre minérale remplace progressivement sur le marché le liège coûteux utilisé jusqu'alors. « Elle permet le remplacement du vide par de la fibre. La fixation de l'épaisseur se fit de manière empirique (1 à 3 cm). »<sup>7</sup> Vers la fin des années 50, une faible isolation fait son apparition à l'intérieur des murs en Suisse romande. Alors que dans la partie alémanique, « vers 1945, on se pose la question du double murs<sup>8</sup> (porteur intérieur) pour ne plus interrompre l'isolation avec les dalles de balcons, les appuis de fenêtres, etc. »<sup>7</sup>. Les années 60 voient apparaître les façades construites en éléments de béton préfabriqués<sup>9</sup>. Alors que les façades porteuses en béton coulé se répandent au début des années 70. Utilisées dans des bâtiments hauts, elles sont souvent combinées avec un doublage intérieur.

Dès les années 70, l'isolation des murs se généralise. Elle s'épaissit progressivement pour voir apparaître les premières isolations extérieures vers la fin des années 70.

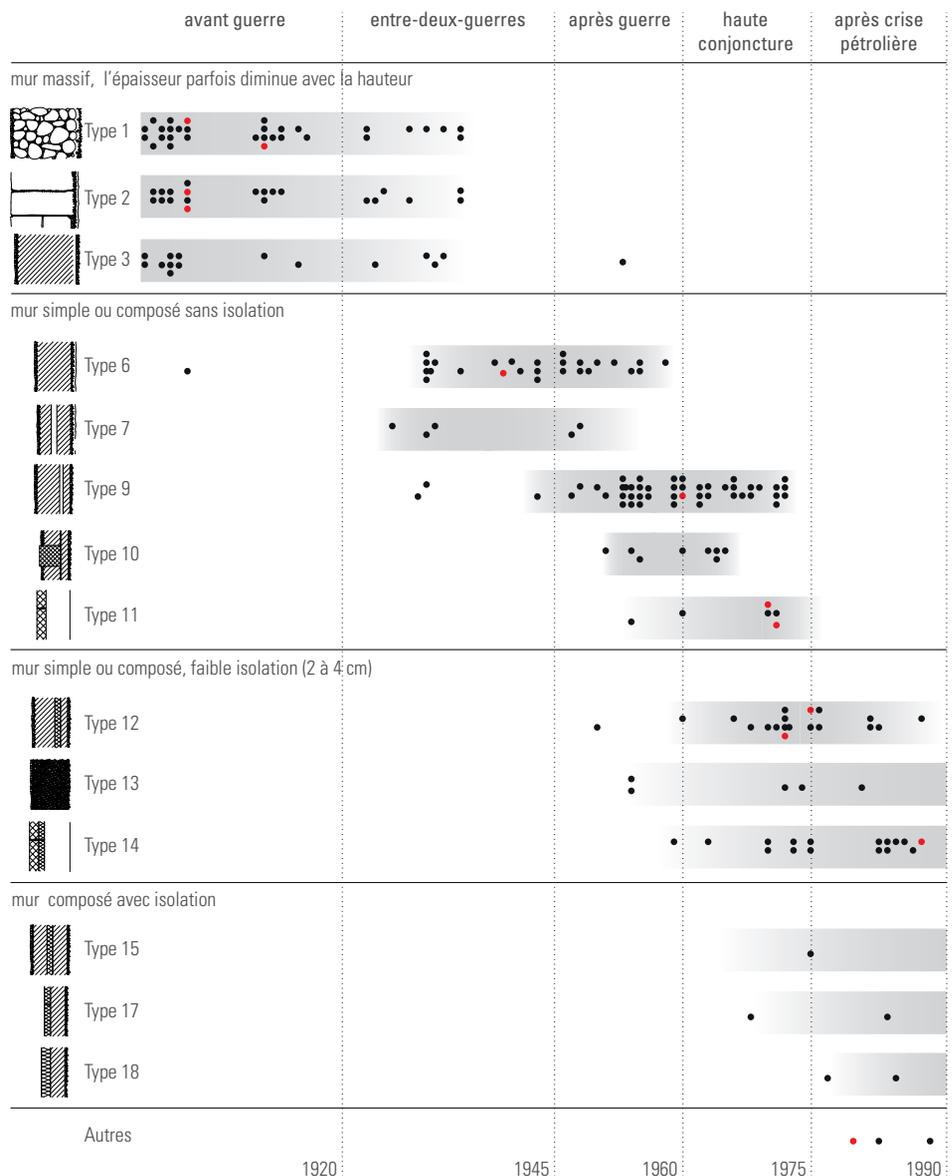
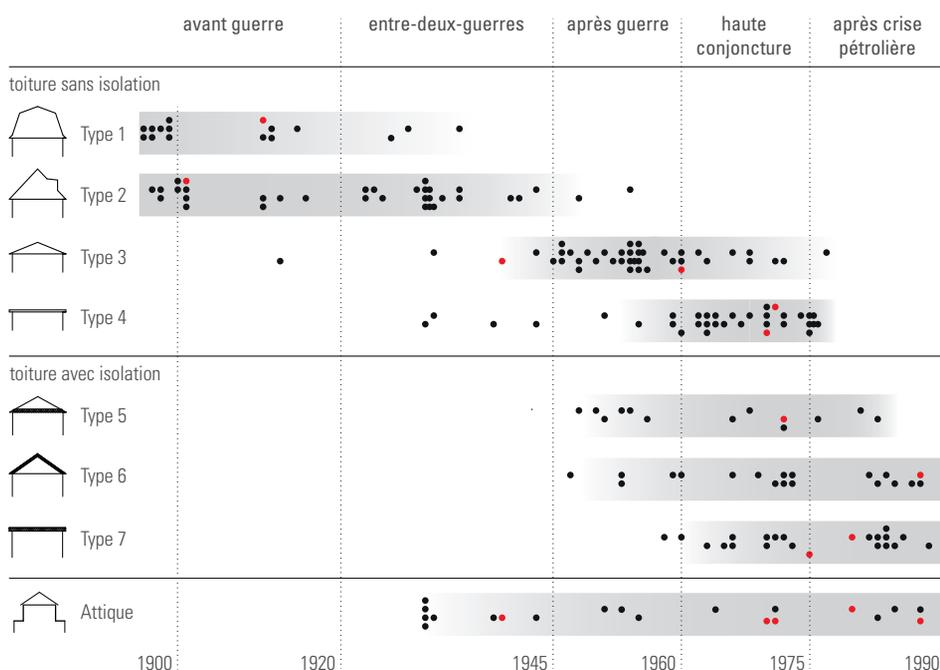


Fig. 10 Répartition des bâtiments selon la composition de leurs façades.

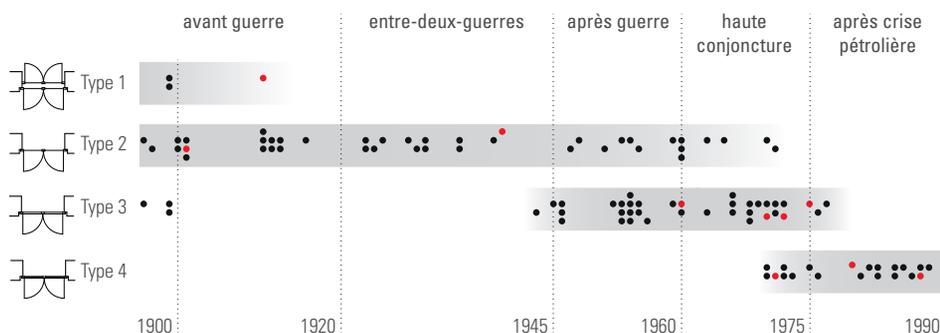
**La toiture** à la Mansart est répandue jusque dans les années 20. La toiture avec une pente importante et généralement habitée s'étend jusque vers le milieu des années 40. Puis, la pente s'affaiblit et les combles ne sont plus habités. La généralisation de l'isolation de ces toitures est difficile à déterminer avec précision car elles ont souvent été rénovées ou transformées. Déjà dans les années 50 quelques toitures sont faiblement isolées. Vers le milieu des années 60, une part importante est isolée soit sur le plancher des combles soit entre les chevrons de la charpente. Les toitures plates apparaissent dès les années 30. Leur isolation commencera dans les années 60 pour se généraliser après la crise pétrolière. On distingue deux types d'attiques. Avant 1920, les attiques sont des espaces dans des toitures en pente éclairées par de grandes lucarnes en longueur. Dès les années 30, ils se développent en retrait de la façade, avec des terrasses.



- T01 : charpente complexe (à la Mansart)
- T02 : en pente sans isolation avec des combles habités
- T03 : faible pente sans isolation et combles pas habités
- T04 : plate sans isolation
- T05 : en pente, isolation du plancher des combles
- T06 : en pente avec isolation de la toiture
- T07 : plate avec isolation
- T08 : plate ou en pente avec un attique
- bâtiments des études de cas
- 193 bâtiments recensés

Fig. 11 Répartition des bâtiments dans le temps et selon la composition et la forme de leur toiture.

**Les fenêtres** à caisson<sup>11</sup> et les fenêtres avec contre-fenêtres<sup>12</sup>, atteignant une valeur  $U_w$  d'environ  $2.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ , se retrouvent jusqu'à la fin des années 20. Les fenêtres avec un verre simple<sup>13</sup>, d'une valeur  $U_w$  d'environ  $5 \text{ W/m}^2\text{K}$  seront utilisées jusque vers le milieu des années 60. Pour pallier les inconforts du simple verre (condensation, courants d'air froids descendants dans les pièces d'habitation), des fenêtres composées de deux couches de verre<sup>14</sup> et les fenêtres couplées<sup>15</sup> vont se développer au milieu des années 40. Ils ne résoudront pas totalement les phénomènes cités précédemment. Elles laisseront progressivement leur place aux fenêtres avec verre isolant double dès les années 70. La valeur  $U_w$  reste toutefois autour de  $2.9 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Les verres avec des couches sélectives et l'utilisation de gaz nobles permettant d'atteindre une valeur  $U_g$  inférieure à  $1.0 \text{ W/m}^2\text{K}$  pour un verre isolant double n'apparaîtront que dans les années 90. Ils permettront aux fenêtres d'atteindre des valeurs  $U_w$  d'environ  $1.3 \text{ W/m}^2\text{K}$ .



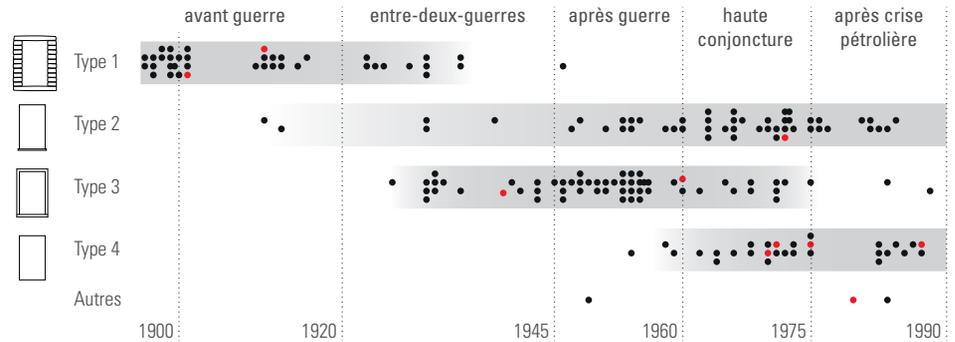
- T01 : fenêtre à caisson, fenêtre avec contre-fenêtre
- T02 : fenêtre avec verre simple
- T03 : fenêtre avec deux verres simples sans isolation, fenêtre couplée
- T04 : fenêtre avec verre isolant double
- bâtiments des études de cas
- 193 bâtiments recensés

Fig. 12 Répartition des bâtiments dans le temps et selon le type de fenêtre.

- T01 : pierre naturelle  
 T02 : crépi  
 T03 : simiplierre / ciment moulé  
 T04 : béton préfabriqué  
 Autres: métal, Éternit, bois  
 ● bâtiments des études de cas  
 ● 193 bâtiments recensés

Fig. 13 Répartition des bâtiments dans le temps et selon leur type d'embrasure.

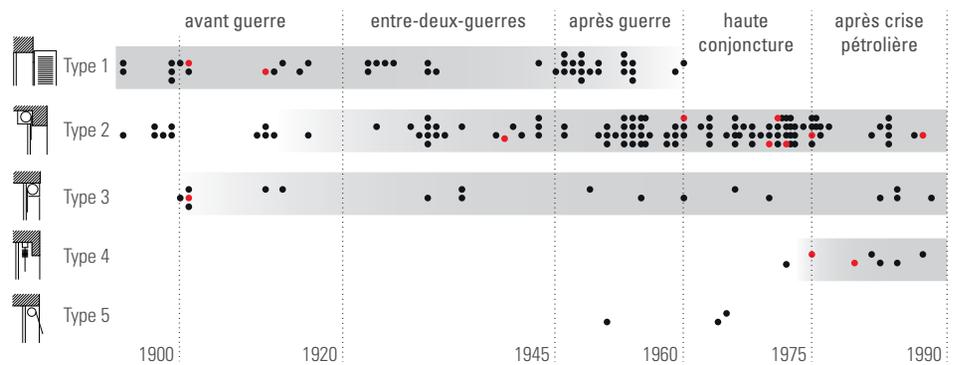
**Les embrasures** en pierre naturelle caractérisent les bâtiments jusqu'au début des années 30. Elles sont remplacées par les embrasures en simiplierre ou ciment moulé qui dominent le paysage bâti jusqu'à la fin des années 50. Dans les années 60, elles diminuent au profit des embrasures crépies ou en béton.



**Les protections solaires.** Les volets battants sont souvent utilisés jusqu'au milieu des années 50. Les volets à rouleau, montés dans un caisson intérieur, deviennent alors dominants. Les volets à rouleau montés à l'extérieur se trouvent sur d'anciens bâtiments, mais aussi dans les immeubles des années 80. Ils sont alors recouverts d'un caisson métallique apparent. Les stores extérieurs à lamelles font leur apparition au milieu des années 70. Les stores en toile sont quant à eux peu répandus dans les immeubles étudiés.

- T01 : volets battants  
 T02 : volet à rouleau avec caisson intérieur  
 T03 : volets à rouleau extérieur  
 T04 : store à lamelle  
 T05 : store extérieur en toile  
 ● bâtiments des études de cas  
 ● 193 bâtiments recensés

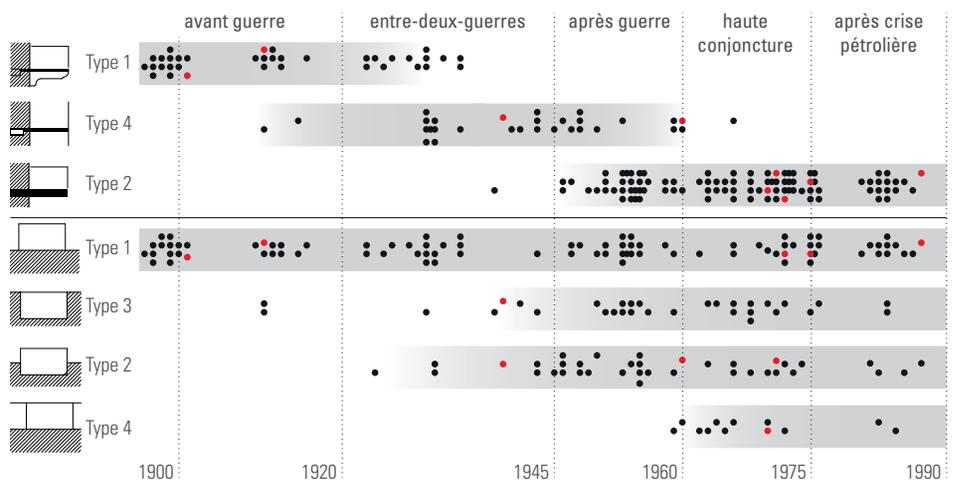
Fig. 14 Répartition des bâtiments dans le temps et selon leur type de protection solaire.



**Les balcons** réalisés avec des dalles posées sur des consoles se retrouvent dans les bâtiments anciens. Liés au mode de construction des planchers en bois, ils disparaissent dans les années 30. Les bâtiments avec des planchers en corps creux ont souvent des dalles plus fines en béton pour les balcons. Elles portent sur le mur de façade et sur des murs latéraux des espaces extérieurs partiellement en saillie ou des loggias. Ce type d'espaces extérieurs est fréquent entre 1945 et 1975. Dès les années 50, les espaces extérieurs sont réalisés avec une dalle en béton continue. Les balcons en saillie refont leur apparition. La rupture thermique de la dalle apparaît tardivement, au-delà des périodes étudiées.

- Selon la construction de l'espace extérieur:  
 T01 : dalle sur console  
 T02 : dalle continue en porte-à-faux  
 T04 : dalle interrompue  
 Selon l'emplacement de l'espace extérieur:  
 T01 : balcon en saillie  
 T02 : balcon partiellement en saillie  
 T03 : espace extérieur encastré, loggia  
 ● bâtiments des études de cas  
 ● 193 bâtiments recensés

Fig. 15 Répartition des bâtiments dans le temps et selon leur type d'espace extérieur.



## LES MODÈLES DE BÂTIMENT

L'étude des caractéristiques constructives et architecturales a mis en évidence 15 modèles de bâtiments liés au mode de construction d'une époque. Dix modèles ont été sélectionnés pour une étude approfondie. Ils ont fait l'objet d'une analyse détaillée de l'état existant puis des stratégies de rénovation de l'enveloppe ont été développées, avec comme objectifs de trouver le meilleur équilibre entre l'efficacité énergétique (valeur-limite de la norme SIA 380/1 éd. 2009), l'aspect architectural, le confort des usagers, la physique du bâtiment et l'aspect financier. En mettant l'accent sur la rénovation énergétique de l'enveloppe, le projet traite uniquement les stratégies de rénovation partielle ou complète. Les stratégies de remplacement du bâtiment (démolition ou reconstruction) ou celles d'entretien (maintien de la valeur de l'immeuble) ont été écartées. Les études de cas présentées ont pour but de dégager des principes généraux d'intervention. Bien entendu, chaque cas est unique. Les propositions ne peuvent pas être reproduites telles quelles sur d'autres immeubles.

Les modèles 04, 06 et 13, peu présents en Suisse romande, n'ont pas été retenus comme cas d'étude. Le modèle 05 a également été écarté. Construit en périphérie et de manière économique, ce type de bâtiments est aujourd'hui démolit et reconstruit plutôt qu'assaini, ceci dans le but d'une densification. Le modèle 15 n'a pas été traité car une nouvelle isolation périphérique pose peu de difficultés constructives et ne change que peu l'aspect architectural du bâtiment.



Fig. 16 Illustration des 15 modèles définis. En rouge, les modèles sélectionnés pour les études de cas approfondies.

## MODÈLE 01

1920

1945

1960

1975 | 1980

**Situation :** bâtiment de 4 à 6 étages, contigu, parfois en fin d'îlot bâti, situé en centre-ville.  
**Façade :** monolithique de grande épaisseur (45 à 65 cm) en maçonnerie de moellons recouverte de pierre naturelle apparente. Parfois, la pierre naturelle ne se déploie que sur les étages inférieurs. Le rez-de-chaussée est occupé par des espaces publics. L'épaisseur des murs diminue fréquemment dans les étages supérieurs. La façade sur « cour » est généralement d'une construction plus modeste uniquement avec un crépi de finition.

**Toiture :** combles aménagés avec une charpente complexe (à la Mansart) ou en pente avec des lucarnes.

**Planchers :** en bois ou en hourdis sur sous-sol. Aux étages, ils sont généralement en bois.

**Embrasures :** pierre naturelle

**Espaces extérieurs :** balcons en encorbellement. Ils sont en saillie de la façade et posés sur des consoles. Les garde-corps sont en ferronnerie.

**Décors :** bâtiment comprenant de nombreux éléments d'ornementation, chaînage d'angle en pierre naturelle, entablement ornemental, encadrements de fenêtres en pierre naturelle, parfois sculptée. La façade est généralement structurée horizontalement par des bandeaux d'étage ou d'appui en pierre naturelle.



Fig. 17 à 19 de gauche à droite.  
 Bâtiment construit en 1901 à Genève (étude de cas 01), bâtiment construit en 1912 à Genève, bâtiment construit en 1899 à Fribourg.

## MODÈLE 02

1920

1945

1960

1975 | 1980

**Situation :** bâtiment de 4 à 6 étages en ordre contigu, parfois en fin d'îlot bâti et implanté en centre-ville.

**Façade :** monolithique de grande épaisseur (45 à 65 cm), crépie. Elle est composée de moellons, parfois de briques. L'épaisseur diminue souvent dans les étages supérieurs. La façade sur « cour » est souvent d'une architecture plus modeste que la façade sur « rue ».

**Toiture :** combles aménagés avec une charpente complexe (à la Mansart) ou en pente avec des lucarnes.

**Planchers :** en bois ou en hourdis sur sous-sol. Aux étages, ils sont souvent en bois.

**Embrasures :** pierre naturelle.

**Espaces extérieurs :** balcons en encorbellement. Ils sont en saillie de la façade et la plateforme est posée sur des consoles. Les garde-corps sont en ferronnerie.

**Décors :** bâtiment comprenant de nombreux éléments d'ornementation, chaînages d'angles en pierre naturelle, entablement ornemental, encadrements de fenêtres en pierre naturelle taillée. La façade est généralement structurée horizontalement par des bandeaux d'étage ou d'appui en pierre naturelle.



Fig. 20 et 21 de gauche à droite.  
 Bâtiment construit en 1911 à Lausanne (étude de cas 02), bâtiment construit en 1915 à Fribourg.

**MODÈLE 03** | 1920 | 1945 | 1960 | 1975 | 1980 |

**Situation** : bâtiment de 5 à 7 étages en ordre contigu, parfois en fin d'îlot bâti, situé en centre-ville.

**Façade** : monolithique et crépie, souvent en briques d'une épaisseur de 35 à 45 cm. L'épaisseur a eu tendance à diminuer dans le temps. Le socle est parfois recouvert d'un placage en pierre ou en ciment.

**Toiture** : combles aménagés, majoritairement en pente, apparition des premiers attiques et des premières toitures plates.

**Planchers** : en hourdis ou parfois en béton sur sous-sol. Aux étages, ils sont généralement en bois ou en hourdis, parfois en béton ou béton nervuré.

**Embrasures** : majoritairement en similipierre.

**Espaces extérieurs** : loggias généralement peu ou pas en saillie de la façade. Elles sont réalisées avec une plateforme en béton interrompue ou continue. Les garde-corps sont principalement en maçonnerie crépie. Terrasses pour les bâtiments avec un attique.

**Décors** : dépouillement et pas d'ornementation. Un bandeau sépare généralement le rez-de-chaussée des étages. L'entablement de la façade est parfois marqué par un élément plus travaillé. Horizontalité souvent marquée par la présence de balcons en coursive.



Fig. 22 et 23 de gauche à droite.  
Bâtiment construit en 1939 à Lausanne  
(étude de cas 03), bâtiment construit  
en 1943 à Fribourg.

**MODÈLE 04** | 1920 | 1945 | 1960 | 1975 | 1980 |

**Situation** : bâtiment de 4 à 6 étages, généralement non contigu, implanté proche des centres de ville.

**Façade** : crépie, composée d'un double mur en briques avec un vide d'air (12 cm / 6 cm / 12 cm). Le mur porteur est généralement à l'intérieur.

**Toiture** : majoritairement en pente, premiers attiques et premières toitures plates et présence de quelques toitures complexes au début de la période. Les planchers de combles isolés ou les toitures isolées sont rares.

**Planchers** : planchers en hourdis ou parfois en béton sur sous-sol. Aux étages, les planchers sont généralement en bois ou en hourdis, parfois en béton.

**Embrasures** : majoritairement en similipierre.

**Espaces extérieurs** : plateforme en béton interrompue. Les balustrades sont principalement en maçonnerie crépie, parfois en ferronnerie au début de la période ou en huisserie métallique vers la fin de la période.



Fig. 24 et 25 de gauche à droite.  
Bâtiment construit en 1931 à Vevey,  
bâtiment construit en 1947 à Fribourg.

## MODÈLE 05

1920

1945

1960

1975 | 1980

**Situation :** bâtiment de 4 à 6 étages, généralement non contigu, implanté proche des centres de ville.

**Façade :** monolithique, crépie, généralement en briques d'une épaisseur de 25 à 30 cm.

**Toiture :** avec une faible pente et des combles rarement aménagés. Le plancher est parfois faiblement isolé.

**Planchers :** souvent en béton, parfois en hourdis ou mixtes. Le plancher des combles est parfois en bois.

**Embrasures :** souvent en similipierre.

**Espaces extérieurs :** généralement des loggias réalisées en saillie ou non de la façade avec une plateforme en béton interrompue ou continue. Les matériaux des garde-corps sont variés (balustrades en huisserie métallique, en panneaux de fibrociment, etc.).

**Décors :** extrême dépouillement. Les éléments se limitent au minimum fonctionnel; un avant-toit formé par le débordement de la toiture et un élément de socle (généralement une partie du sous-sol excavé).



Fig. 25 et 26 de gauche à droite.  
Bâtiment construit en 1954 à Renens,  
bâtiment construit à Genève en 1947.

## MODÈLE 06

1920

1945

1960

1975 | 1980

**Situation :** bâtiment de 4 à 6 étages, non contigu, implanté dans des quartiers périphériques des villes ou des villages et des bourgs en développement.

**Façade :** crépie, composée d'un mur monolithique en briques « isolantes » de type DURISOL, YTONG, etc.

**Toiture :** combles pas aménagés majoritairement avec une faible pente. Le plancher des combles est parfois faiblement isolé.

**Planchers :** majoritairement en béton, parfois mixtes ou en hourdis.

**Embrasures :** en similipierre.

**Espaces extérieurs :** généralement des loggias réalisées légèrement en saillie de la façade avec une plateforme en béton interrompue ou continue. Les matériaux des garde-corps sont variés (balustrades en huisserie métallique, en panneaux de fibrociment ou en maçonnerie crépie).

**Décors :** dépouillement, un avant-toit formé par le débordement de la toiture et un élément de socle. Fréquemment une marquise surplombe l'entrée.



Fig. 27 et 28 de gauche à droite.  
Bâtiment construit en 1954 à Renens,  
bâtiment construit en 1954 à Lausanne.

## MODÈLE 07

1920

1945

1960

1975 | 1980

**Situation :** bâtiment de 5 à 8 étages, généralement non contigu, implanté proche des centres de ville.

**Façade :** en maçonnerie crépie, composée d'un mur porteur extérieur, d'un vide d'air et d'un doublage intérieur (20 / 6 / 6 cm).

**Toiture :** combles pas aménagés majoritairement avec une faible pente. Le plancher des combles est parfois faiblement isolé.

**Planchers :** majoritairement en béton, parfois mixtes ou en hourdis.

**Embrasures :** en similibrique.

**Espaces extérieurs :** généralement des loggias réalisées légèrement en saillie de la façade avec une plateforme en béton interrompue ou continue. Les matériaux des garde-corps sont variés (balustrades en huisserie métallique, en panneaux de fibrociment ou en maçonnerie crépie).

**Décors :** dépouillement, un avant-toit formé par le débordement de la toiture et un élément de socle. Fréquemment une marquise surplombe l'entrée.



Fig. 29 et 30 de gauche à droite. Bâtiment construit en 1955 à Fribourg, bâtiment construit en 1960 à Lausanne (étude de cas 04).

## MODÈLE 08

1920

1945

1960

1975 | 1980

**Situation :** bâtiment de plus de 6 étages, en ordre contigu, implanté dans des quartiers périphériques des villes.

**Façade :** voile de béton coulé sur place, parfois préfabriqué, avec un vide d'air et un doublage intérieur, parfois avec une faible isolation. Les murs de refend sont porteurs et les façades longitudinales sont composées d'éléments de remplissage en panneaux sandwich ou d'éléments de vitrages.

**Toiture :** généralement plate et très faiblement isolée (2–3 centimètres de liège).

**Planchers :** en béton.

**Embrasures :** souvent en béton.

**Espaces extérieurs :** loggias réalisées en éléments de béton horizontaux structurant la façade, parfois rapportées sur celle-ci. La dalle est continue. Les garde-corps sont réalisés généralement en éléments de béton préfabriqué.

**Décors :** généralement pas de débordement de la toiture. Parfois, le rez-de-chaussée est libre, sur des pilotis.



Fig. 31 et 32 de gauche à droite. Bâtiment construit en 1970 à Chêne-Bougeries, bâtiment construit en 1971 à Onex.

## MODÈLE 09

1920

1945

1960

1975 1980

**Situation :** bâtiment de plus de 6 étages, non contigu, implanté dans des quartiers périphériques des villes.

**Façade :** mur extérieur en béton apparent porteur, coulé sur place ou préfabriqué, avec un vide d'air et un doublage intérieur, parfois avec une faible isolation.

**Planchers :** en béton.

**Toiture :** généralement plate et très faiblement isolée (2–3 centimètres de liège).

**Embrasures :** souvent en béton.

**Espaces extérieurs :** loggias réalisées par un décrochement vers l'intérieur de la façade avec une dalle de béton continue ou balcons avec une dalle en béton continue en saillie.

**Décors :** généralement pas d'élément de débordement de la toiture. Parfois, le rez-de-chaussée est libre, posé sur des pilotis.



Fig. 33 et 34 de gauche à droite.  
Bâtiment construit en 1972 à Yverdon,  
bâtiment construit en 1975 à Fribourg  
(étude de cas 07).

## MODÈLE 10

1920

1945

1960

1975 1980

**Situation :** bâtiment de 4 à 5 étages, non contigu, implanté dans des quartiers périphériques des villes.

**Façade :** crépie, composée d'un mur porteur extérieur, d'une isolation de 3 à 5 cm et d'un doublage intérieur.

**Toiture :** en pente avec des combles rarement aménagés ou plate. Les toits avec une faible pente sont généralement isolés sur le plancher des combles ou entre les chevrons. Les toits plats sont parfois isolés.

**Planchers :** pratiquement toujours en béton.

**Embrasures :** généralement crépies, parfois en similibierre.

**Espaces extérieurs :** généralement des balcons réalisés en saillie de la façade avec une dalle en béton continue. Fréquemment, il s'agit de balcons en longueur. Les garde-corps sont fréquemment réalisés en éléments mixtes (béton/verre).



Fig. 35 et 36 de gauche à droite.  
Bâtiment construit en 1972 à Denges,  
bâtiment construit en 1972 à Cossonay  
(étude de cas 06).

## MODÈLE 11

1920

1945

1960

1975 1980

**Situation :** bâtiment de plus de 6 étages, non contigu, implanté dans des quartiers périphériques des villes.

**Façade :** éléments non porteurs préfabriqués en béton apparent et généralement isolés.

**Planchers :** en béton.

**Toiture :** généralement plate et parfois avec une faible isolation.

**Embrasures :** généralement en éléments de béton préfabriqué.

**Espaces extérieurs :** loggias ou balcons généralement réalisés avec une dalle en béton continue. Le garde-corps comprend parfois des bacs pour des plantes.

**Décors :** les éléments de béton préfabriqués sont fréquemment en béton structuré (béton lavé, élément de forme complexe, et. Les éléments de corniches de toiture sont rares.



Fig. 37 et 38 de gauche à droite.  
Bâtiment construit en 1973 à Morges,  
bâtiment construit en 1971 à Onex  
(étude de cas 08).

## MODÈLE 12

1920

1945

1960

1975 1980

**Situation :** bâtiment en ordre contigu, parfois en fin d'îlot bâti, en périphérie des villes ou au centre-ville en remplacement de bâtiments démolis.

**Façade :** rideau ou entre dalle, généralement composée d'une importante surface vitrée et de menuiserie en aluminium, parfois comportant des parties pleines en métal ou en verre émaillé.

**Toiture :** généralement plate.

**Planchers :** majoritairement en béton.

**Espaces extérieurs :** pas d'espaces extérieurs ou parfois des loggias encastrées.



Fig. 38 et 39 de gauche à droite.  
Bâtiment construit en 1960 à Genève,  
bâtiment construit en 1980 à Genève  
(étude de cas 09).

## MODÈLE 13

1920

1945

1960

1975 1980

**Situation :** bâtiment de 4 à 6 étages, non contigu, implanté dans des quartiers périphériques des villes ou des villages et des bourgs en développement.

**Façade :** crépie, monolithique en briques « isolantes » de type LECA, YTONG, etc.

**Toiture :** généralement des combles en pente aménagés ou non. L'isolation se trouve entre les chevrons, sinon le plancher des combles est généralement isolé.

**Planchers :** majoritairement en béton.

**Embrasures :** généralement crépies.

**Espaces extérieurs :** fréquemment des balcons en saillie réalisés avec une dalle en béton continue. Le garde-corps est souvent en huisserie métallique, en verre ou en élément composite. Parfois, des espaces extérieurs encaissés sont aménagés dans la toiture.

**Décors :** souvent un faible débordement de la toiture forme un avant-toit.

Fig. 40 Bâtiment construit en 1981 à Orbe.



### MODÈLE 14

1920

1945

1960

1975 | 1980

**Situation :** bâtiment de 4 à 8 étages, non contigu, implanté dans des quartiers périphériques des villes ou des villages et des bourgs en développement.

**Façade :** éléments préfabriqués non porteurs en béton apparent et isolés (béton/isolation). La paroi porteuse se trouve à l'intérieur. L'enveloppe du bâtiment développe des formes plus complexes.

**Planchers :** en béton.

**Toiture :** fréquemment des combles aménagés en pente, généralement isolés.

**Espaces extérieurs :** fréquemment des balcons en saillie d'une forme complexe, avec une dalle en béton continue. Le garde-corps est réalisé fréquemment en construction mixte (béton/métal ou verre).

Fig. 41 et 42 de gauche à droite. Bâtiment construit en 1987 à Fribourg, bâtiment construit en 1988 à Genève (étude de cas 10).



### MODÈLE 15

1920

1945

1960

1975 | 1980

**Situation :** bâtiment de 4 à 6 étages, non contigu, implanté dans des quartiers périphériques des villes ou des villages et des bourgs en développement.

**Façade :** crépie, généralement en maçonnerie de briques perforées recouverte d'une isolation périphérique de « première génération » de faible épaisseur (6 à 8 cm).

**Toiture :** autant plate qu'en pente.

**Planchers :** en béton.

**Embrasures :** généralement crépies.

**Espaces extérieurs :** loggias ou balcons généralement réalisés avec une dalle en béton continue. Le garde-corps est généralement en béton ou en huisserie métallique.

**Décors :** le caisson de store est souvent réalisé avec un élément métallique apparent.

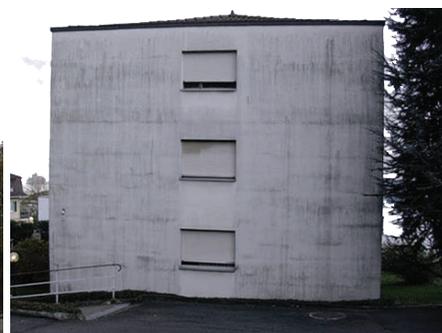


Fig. 43 et 44 de gauche à droite. Bâtiment construit en 1985 à Renens, bâtiment construit en 1977 à Pully.

# LES CARACTÉRISTIQUES ARCHITECTURALES

Chaque époque présente ses caractéristiques liées au mode de construction, aux matériaux à disposition (matériaux locaux ou pénurie de matériaux après la Deuxième Guerre mondiale par exemple), aux détails stylistiques de l'époque et à la localisation de la construction (bâtiment contigu en centre-ville, bâtiment isolé en périphérie).

Une rénovation énergétique généralisée du parc immobilier vieillissant et gourmand en énergie encouragée par la stratégie 2050 de la Confédération engendre le risque d'une homogénéisation de l'aspect des bâtiments et une perte des repères et de substance urbaine. Sans trop de réflexions, les fenêtres sont remplacées par des fenêtres en PVC blanc, la façade est enveloppée par une isolation périphérique crépie qui recouvre tous les détails architecturaux [voir illustrations ci-dessous].



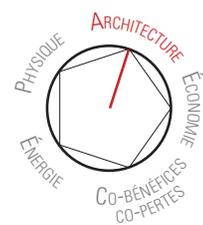
Fig. 45 et 46. À droite, les conséquences d'une isolation périphérique non réfléchi sur les caractéristiques architecturales d'un bâtiment. À gauche, un autre bâtiment montrant les caractéristiques architecturales perdues dans le second.

Des interventions non réfléchies au niveau du détail constructif risquent d'affecter l'image architecturale et de diminuer la valeur culturelle et la qualité urbanistique du parc immobilier. L'enjeu d'une rénovation énergétique respectueuse et durable consiste à améliorer considérablement la performance de l'enveloppe thermique tout en préservant la diversité et l'histoire de l'environnement construit. Ces considérations doivent être prises en compte. Même si les bâtiments ne font pas l'objet d'une protection patrimoniale, ils participent de l'image de la ville et d'une forme de patrimoine collectif. Par ailleurs l'histoire a montré que ce qui était considéré comme indigne d'intérêt à une certaine époque prend souvent une autre dimension affective et culturelle pour les générations ultérieures.

Pour chaque étude de cas, les caractéristiques constructives et architecturales ont été analysées. Les éléments qui méritent d'être conservés et les éléments de construction facile et économique à améliorer ont été identifiés. Dans la plupart des cas, ces mesures ne suffisent pas pour atteindre les exigences énergétiques actuelles et il est nécessaire d'isoler également les façades. Différentes stratégies ont été développées en fonction des caractéristiques existantes. Elles ont permis d'atteindre les exigences énergétiques.

- Étude de cas 01 : compensation façade rue – façade cours
- Étude de cas 02 : pierre naturelle - Isolation intérieure
- Étude de cas 03 : crépis isolant et mesures ciblées
- Étude de cas 04 : isolation extérieure et reconstitution de détails caractéristiques
- Étude de cas 05 : isolation façade en retrait et mesures ciblées
- Étude de cas 06 : nouvelle image
- Étude de cas 07 : béton – remplacement du doublage intérieur par une isolation
- Étude de cas 08 : béton préfabriqué – ajout d'une isolation intérieure
- Étude de cas 09 : façade légère – nouvelle façade à l'identique
- Étude de cas 10 : fermeture des balcons et mesures ciblées

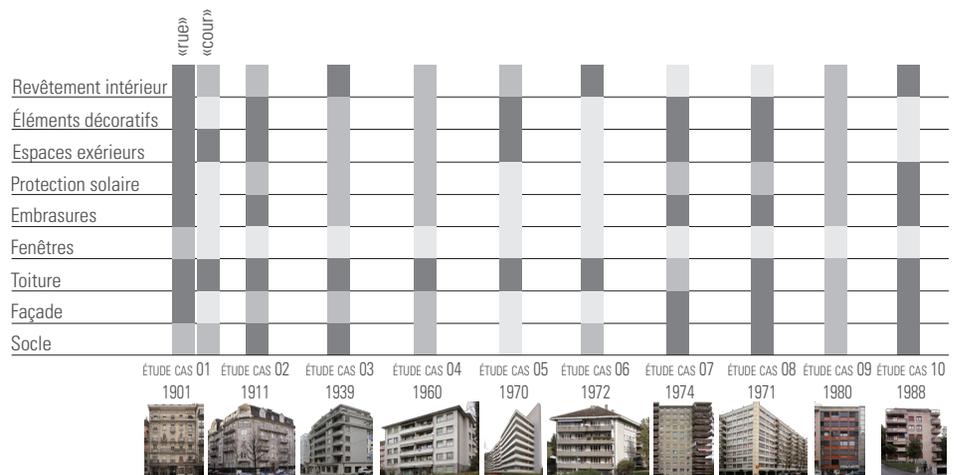
Les résultats des études de cas montrent qu'il est possible d'atteindre les exigences globales tout en respectant le caractère et les particularités constructives du bâtiment [voir figure 47], qui plus est à un coût acceptable. Le tableau de la figure 47 représente l'impact des scénarios de rénovation sur les caractéristiques architecturales. Il nécessite une interprétation détaillée, un grand nombre d'éléments rénovés avec une apparence modifiée n'est pas forcément une perte du caractère architecturale [voir étude de cas 05].



**L'enjeu d'une rénovation énergétique respectueuse et durable consiste à améliorer considérablement la performance de l'enveloppe thermique tout en préservant la diversité et l'histoire de notre environnement construit.**

Fig. 47 Évaluations du maintien des caractéristiques architecturales par élément.

- Pas rénové
- Rénové en conservant l'apparence
- Rénové en modifiant l'apparence



Selon les cas d'études, différentes stratégies de rénovation ont été étudiées :

### PRÉSERVER LES CARACTÉRISTIQUES

Dans certains cas, il est possible de préserver au maximum une façade richement décorée en compensant par d'autres éléments de construction, par exemple par une enveloppe très performante de la façade sur cour, moins remarquable [voir étude de cas 01].

Dans d'autres cas, une isolation intérieure permet de préserver les caractéristiques des façades complexes [voir études de cas 02, 07, 08], robustes et durables [voir étude de cas 07]. Dans l'étude de cas 02, une isolation en panneau minéral est mise en œuvre à l'intérieur en préservant les boiseries d'embrasures caractéristiques. Dans les études de cas 07 et 08, les façades complexes en béton sont isolées par l'intérieur avec des éléments préfabriqués. Une intervention par l'intérieur, très délicate au niveau de la physique du bâtiment, nécessite un soin particulier dans le traitement des ponts thermiques et le comportement hygrométrique des détails proposés.

Si l'application d'une isolation extérieure s'avère compliquée, un crépi isolant minéral peut remplacer le crépi actuel et améliorer le bilan énergétique tout en gardant l'aspect du bâtiment [voir études de cas 02 et 03]. Il atténue aussi les problèmes de ponts thermiques.

### RECONSTRUIRE LES CARACTÉRISTIQUES

Les bâtiments, non contigus, avec des façades moins complexes permettent plus facilement une isolation par l'extérieur. Le choix de la bonne épaisseur d'isolation et le soin des détails de raccord permettent de garder les caractéristiques de cette époque [voir étude de cas 04]. Dans cette étude de cas, une épaisseur trop importante d'isolation extérieure aurait fait disparaître la saillie des balcons, caractéristiques de cet immeuble. Les embrasures en similipierre ont été reconstruites en ciment moulé pour conserver l'une des caractéristiques de l'immeuble.

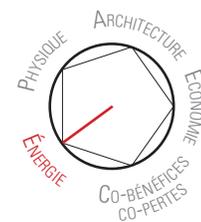
La façade rideau du bâtiment [voir étude de cas 09] a été remplacée en gardant les proportions, les couleurs et la répartition des parties pleines et vitrées de la façade existante.

### AJOUTER DE NOUVEAUX ÉLÉMENTS OU MODIFIER L'IMAGE

Dans certains cas, la qualité de la construction justifie un changement complet de l'image et permet d'atteindre des exigences énergétiques élevées [voir étude de cas 06]. Dans d'autres cas, la fermeture des balcons augmente la surface habitable et règle les problèmes de ponts thermiques d'une manière simple et économique et réversible [voir étude de cas 10]. Parfois, des mesures supplémentaires au premier scénario afin d'atteindre la valeur-limite pour les besoins de chaleur ont fait perdre des qualités architecturales au bâtiment [voir études de cas 03, 05].

Pour connaître les possibilités et les limites d'une intervention sur l'enveloppe et définir la bonne stratégie, une étude détaillée par un professionnel est nécessaire. Elle permet de déterminer les forces et faiblesses du bâtiment et de trouver le meilleur compromis entre efficacité énergétique et rénovation respectueuse de la substance d'origine. Elle a pour objectif d'établir de manière précise les conditions tant techniques que financières de l'intervention. Une étude détaillée est indispensable si l'on entend éliminer le risque d'être entraîné dans une opération aventureuse avec un résultat peu convaincant.

**Pour connaître les possibilités et les limites d'une intervention sur l'enveloppe et définir la bonne stratégie, une étude détaillée par un professionnel est nécessaire.**



# LES BILANS THERMIQUES

L'analyse thermique des bâtiments a été réalisée en plusieurs étapes. Lors d'une première étape, le bilan énergétique de l'état existant a été calculé et comparé aux relevés des consommations. Pour confirmer les hypothèses de composition, des mesures de la valeur U ont été effectuées, voire parfois des sondages. Dans une seconde étape, un scénario de rénovation énergétique visant à atteindre les valeurs-limites de la norme SIA 380/1 éd. 2009 en conservant les caractéristiques architecturales relevées précédemment a été élaboré puis son bilan thermique a été calculé. Lors d'une troisième étape, si l'objectif n'a pas été atteint, un nouveau scénario avec des mesures d'isolation supplémentaires a été développé pour atteindre l'objectif énergétique.

## LES BILANS ÉNERGÉTIQUES DE L'ÉTAT EXISTANT

La consommation énergétique des dix bâtiments retenus pour l'étude a été analysée à partir de deux approches :

- les moyennes sur 3 à 4 ans (2009-2013) des relevés de consommation réelle<sup>16</sup> (énergie finale) mis à disposition par les propriétaires ou les IDC<sup>17</sup> (Indice de dépense de chaleur, information obligatoirement transmise aux services de l'État dans le canton de Genève) : l'énergie utile en a été extraite après prise en compte du rendement de l'installation de chauffage (80 % pour une chaudière individuelle et 90 % pour un chauffage à distance) et d'une part d'énergie nécessaire à la production d'eau chaude sanitaire (75 MJ/m<sup>2</sup> an pour les logements respectivement 25 MJ/m<sup>2</sup> an pour les surfaces commerciales, selon la norme SIA 380/1 éd. 2009).
- un bilan thermique (énergie utile, par la suite convertie en énergie finale) calculé selon la norme SIA 380/1 éd. 2009.

Pour des questions de cohérence d'un objet à l'autre et d'unité de méthode, ce sont les bilans calculés et non pas les consommations réelles qui serviront plus loin de base de comparaison avec les bilans thermiques des scénarios de rénovation au risque de parfois sur ou sous-évaluer les interventions.

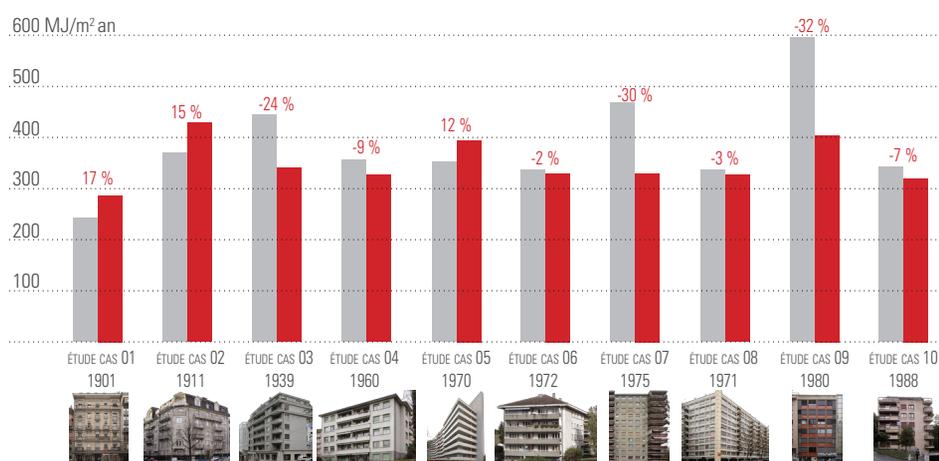


Fig. 48 Représentation des besoins de chaleur pour le chauffage «relevés» (gris) et des besoins de chaleur pour le chauffage Q<sub>h</sub> «calculés» (rouge) en MJ/m<sup>2</sup>.an.

● besoin de chaleur pour le chauffage Q<sub>h</sub> «relevé»  
 ● besoin de chaleur pour le chauffage Q<sub>h</sub> «calculé»  
 % écart en %

La comparaison entre valeurs relevées et calculées a pour but de vérifier la plausibilité des calculs et de les confronter à la réalité. En cas d'écart important (plus de 20%), il convient de vérifier les paramètres de calcul et de rechercher la source des écarts. L'échantillon étudié est trop restreint pour définir statistiquement un pourcentage d'écart. Le chiffre de 20% à partir duquel les écarts doivent être vérifiés a été arrêté arbitrairement, mais il est considéré comme raisonnable pour tenir compte des nombreux paramètres qui peuvent expliquer un écart de cet ordre entre le calcul et la réalité.

16 Pour les bâtiments des études de cas 02, 03, 04, 06, 07.

17 Pour les bâtiments des études de cas 01, 05, 08, 09, 10.

**En cas d'écart important entre le bilan calculé et la consommation réelle, il convient de vérifier les paramètres de calcul et de rechercher la source des écarts.**

Parmi les paramètres qui peuvent varier, on relèvera :

- les variations possibles entre les conditions météorologiques prises en compte dans le modèle de calcul et les conditions réelles durant les quatre hivers sur lesquels portent les relevés de consommation.
- la température réelle régnant à l'intérieur des appartements considérée dans les calculs à 20 °C selon la norme SIA 380/1 éd. 2009 mais qui peuvent être sensiblement différentes selon les occupants et le taux d'occupation.
- le taux d'infiltration arrêté à 0,7 m<sup>3</sup>/h (selon la norme SIA 380/1 éd. 2009) dans les bilans calculés alors que les taux d'infiltration réels n'ont pas pu être mesurés et sont susceptibles de varier fortement selon les usagers et la qualité de la construction existante.
- les valeurs U des éléments de construction qui n'ont pas pu être validées par les mesures effectuées in situ ainsi que les valeurs  $\lambda$  des matériaux qui peuvent différer entre les valeurs théoriques et réelles.
- le rendement des installations de chauffage (uniformisé à 80 % dans les bilans calculés) et le réglage des courbes de chauffe.
- la part des besoins en énergie pour la production d'eau chaude sanitaire qui peut varier en fonction du taux d'occupation et des habitudes des habitants.

Sur l'échantillon de dix bâtiments étudiés, trois présentent un écart supérieur à 20 %. Il s'agit des bâtiments des études de cas 03 (écart de 24 %), 07 (écart de 30 %) et 09 (écart de 32 %). Dans les trois cas, le besoin de chaleur calculé est inférieur au besoin de chaleur réel. Ces écarts sont explicables à plusieurs titres selon les bâtiments.



**Étude de cas 03 – écart de 24 %.** La question de la température intérieure donne une piste d'explication. Lors de la visite des appartements, il est en effet apparu que la température semblait supérieure aux 20 °C. Cette impression est confirmée par les températures relevées lors des mesures de valeur U des éléments d'enveloppe qui ont été effectuées dans deux pièces. Les températures mesurées varient de 20 à 22 °C. Elles induiraient une augmentation du besoin de chaleur.

La « suroccupation » des locaux est la deuxième piste d'explication. Toujours lors de nos visites, il a été constaté que certains appartements étaient occupés par plus de locataires que ce que la surface de l'appartement permet d'accueillir habituellement, en utilisant par exemple les espaces de circulation et de distribution comme des pièces à vivre à part entière. Les personnes supplémentaires engendrent une consommation d'eau chaude sanitaire probablement supérieure à celle prise en compte dans le calcul.



**Étude de cas 07 – écart de 30 %.** Le bâtiment fait partie d'une barre d'habitation comprenant trois entités qui partagent la même installation de production de chaleur, sans compteurs individuels. Une répartition des consommations a été opérée sur la base des surfaces de référence énergétique des différents bâtiments. Il est possible que le modèle 07 « bénéficie » d'un niveau de consommation plus élevé que d'autres bâtiments de la barre. Il se situe en extrémité d'une barre et compte ainsi plus de surface de façade.

La construction par étapes des trois parties de la barre, échelonnée dans le temps, fait que les façades sont vraisemblablement de composition différente. Les plans de demande de permis de construire montrent une isolation de 2 cm, alors que l'immeuble considéré possède 6 cm d'isolation en façade.

Les radiateurs du bâtiment ne sont pas tous équipés de vannes thermostatiques. Selon la norme SIA 380/1 éd. 2009, l'absence de vannes thermostatiques doit être compensée dans les calculs par une température intérieure supérieure de 2 °C (22 °C en lieu et place de 20 °C). En tenant compte d'une température de 1 °C supplémentaire (pour ne prendre en considération qu'une partie des radiateurs), ceci représenterait un besoin de chaleur pour le chauffage supplémentaire de 40,7 MJ/m<sup>2</sup> an. Ce besoin de chaleur supplémentaire n'a pas été pris en considération dans le bilan thermique « calculé » du bâtiment existant. Cela ramènerait le besoin de chaleur pour le chauffage « calculé » à 371,1 MJ/m<sup>2</sup> an, soit un écart de 21 %.



**Étude de cas 09 – écart de 32 %.** La température intérieure donne une piste d'explication. Lors des visites des logements durant l'hiver 2014–15, il est apparu que la température était suffocante. Cette impression est confirmée par les températures relevées lors des mesures de valeur U des éléments d'enveloppe qui ont été effectuées dans trois pièces différentes. Les températures varient de 18 à 27 °C. Il a été calculé qu'un écart de 2 °C sur la température intérieure induit une augmentation du besoin de chaleur d'environ

183 MJ/m<sup>2</sup> an, ce qui ramène l'écart entre les valeurs calculées et réelles à 2 %.

La surconsommation de ce bâtiment pourrait aussi trouver une explication dans la faible inertie de son enveloppe (façade légère très vitrée). Ce défaut d'inertie peut entraîner une situation d'inconfort qui inciterait les occupants à chauffer d'avantage.

D'une manière générale, les besoins de chaleur (calculées ou relevés) s'inscrivent dans l'ordre de grandeur des valeurs habituellement observées sur des bâtiments du XX<sup>e</sup> siècle n'ayant pas ou que peu subi de rénovation énergétique. Dans une large mesure, les écarts constatés entre les valeurs de consommation relevées et les calculs théoriques trouvent une explication plausible. On relèvera en outre que l'échantillon des dix bâtiments étudiés est trop restreint pour qu'un schéma corrélatif entre besoins de chaleur (relevé ou calculé) et les typologies constructives ou l'époque de construction puisse apparaître. La recherche n'a pas pour objectif de mettre en évidence un tel lien.

## LES VALEURS U MESURÉES ET CALCULÉES

Les sources précises (plans de construction et détails des compositions d'origine) faisant souvent défaut et les sondages destructifs étant parfois impossibles, il a été décidé dans le cadre de cette étude de mesurer des valeurs U d'éléments d'enveloppe sur chacune des dix études de cas afin d'écarter, tant que faire se peut, les sources d'erreur et d'affiner les valeurs théoriques qui ont été prises en compte dans les calculs de bilans thermiques.

La majorité des éléments d'enveloppe significatifs dont la composition réelle ne pouvait être déterminée avec certitude ont fait l'objet de mesure de valeur U selon la norme ISO 9869 (2014). L'ensemble des mesures a été effectué entre les mois de novembre 2014 et mars 2015.

Leur valeur U théorique a également été calculée selon la méthode classique qui considère une composition constructive comme succession de couches à résistance thermique différentes. Le tableau ci-dessous [voir figure 49] donne les résultats comparatifs de ces mesures et calculs ainsi que l'élément de construction analysé et le bâtiment de référence.

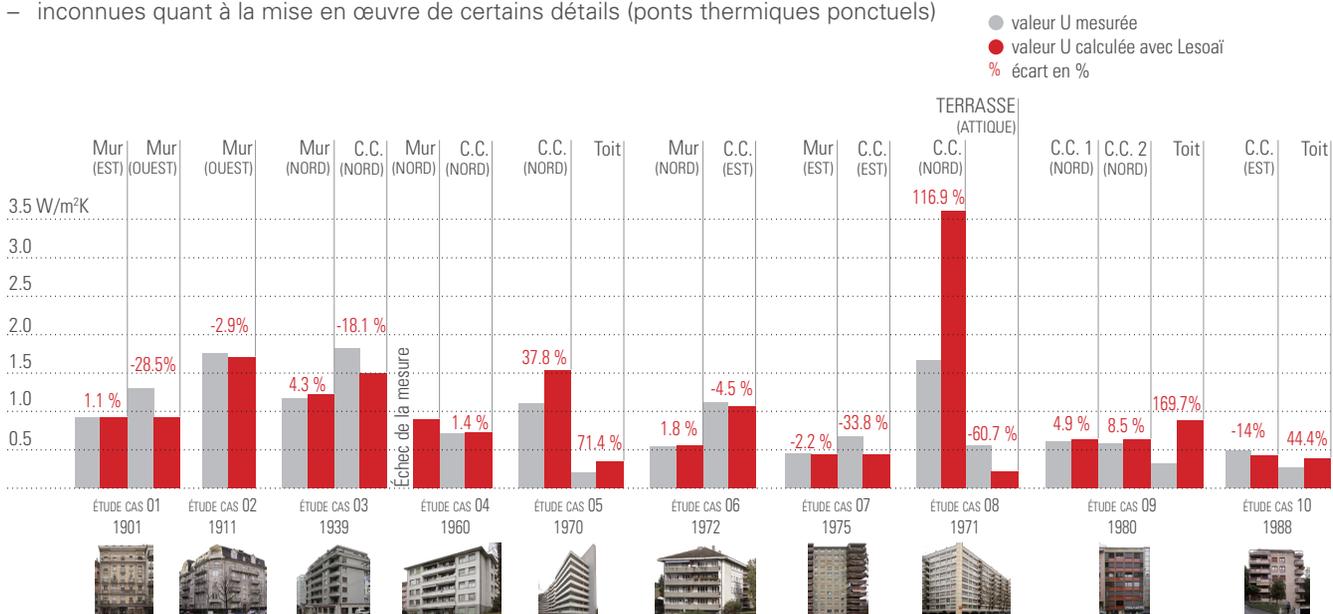
Dans certains cas, des percements ont été effectués pour pouvoir déterminer la composition des murs à l'aide d'un endoscope, en particulier pour vérifier la présence d'un espace d'air entre les couches « dures » ou du remplissage de cet espace avec de l'isolation.

Les valeurs U mesurées pouvant présenter une marge d'erreur d'environ 15 %, on considère que les écarts inférieurs à ce chiffre ne sont pas significatifs. Cela concerne dix mesures sur dix-neuf.

Les écarts supérieurs à 15 % peuvent être expliqués comme suit :

- inconnues quant aux compositions réelles des éléments
- inconnues quant aux épaisseurs réelles des couches
- coefficient de conductibilité énergétique réel (valeur  $\lambda$ ) des matériaux d'époque
- inconnues quant à la mise en œuvre de certains détails (ponts thermiques ponctuels)

Fig. 49 Représentation des valeurs U mesurées (gris) et des valeurs U calculées (rouge) en W/m<sup>2</sup>K.





Les écarts très importants constatés dans le bâtiment de l'étude de cas 08 et de la toiture de celui de l'étude de cas 09 méritent d'être analysés plus attentivement.

**Étude de cas 08.** Le contrecœur est un élément monolithique de béton préfabriqué, sans aucune couche autre qu'une peinture intérieure. La mesure a été faite sur un contrecœur dont le radiateur était éteint. Les hypothèses qui peuvent être avancées pour expliquer l'écart sont les suivantes :

- l'inertie thermique (effet de masse - déphasage) de l'élément n'est pas prise en compte dans le calcul théorique statique. Pour l'appréhender, il faudrait effectuer un calcul dynamique.
- les murs de refends connectés directement aux éléments de façade en préfabriqué forment un pont thermique qui peut contribuer à « réchauffer » le contrecœur.
- lors des visites in situ, il a été constaté que le béton préfabriqué des éléments d'enveloppe, qui n'ont aucun rôle structurel, présente une surface constellée de micros-nids de gravier et bulles d'air. Il est fort possible que le béton soit relativement poreux et que la valeur  $\lambda$  du matériau soit plus favorable que celle prise en compte dans le calcul théorique.

Des écarts du même ordre ont pu être observés lors d'une campagne de mesure menée par Hepia à l'hiver 2014-15 dans plusieurs bâtiments de la même époque présentant des compositions monolithiques en béton. Ces observations pourraient également expliquer les écarts importants constatés sur les contrecœurs des études de cas 03, 05 et 07.

La terrasse de l'attique présente un écart très important. Le modèle théorique a été bâti sur la foi des déclarations de la gérance quant à la composition de la dalle de la terrasse, isolée récemment. N'ayant pas pu effectuer de sondage, il est impossible de vérifier que la composition annoncée correspond réellement à ce qui a été mis en œuvre, ou que la totalité des surfaces ait été traitée. Les mesures permettent d'en douter.



**Étude de cas 09.** La toiture présente des valeurs mesurées nettement meilleures que les calculs théoriques. Selon les plans d'origine, la dalle en béton armé de toiture ne serait recouverte que de 5 cm d'isolation. Il est possible que dès l'origine, l'épaisseur mise en œuvre ait été supérieure ou que des travaux d'assainissement dont nous n'avons pas eu connaissance aient déjà été entrepris. En l'absence de sondages, nous ne pouvons apporter d'explication véritablement satisfaisante.

Cette synthèse et les écarts parfois très importants relevés entre valeurs théoriques et mesurées permet de conclure qu'intervenir sur des constructions existantes et de baser une approche d'avant-projet d'assainissement énergétique sur des hypothèses théoriques (plans, témoignages, valeurs  $\lambda$  de référence) est délicat.

Seuls des sondages établissant des compositions et épaisseurs exactes, voire des analyses des matériaux pour en vérifier la conductibilité thermique, ou encore la prise en compte de paramètres dynamiques dans les modèles de calcul permettraient de définir des valeurs U des éléments de construction existants réellement fiables.

A défaut, les hypothèses de base servant à l'élaboration des avant-projets peuvent être erronées et amener à des décisions discutables (efficacité moindre que prévu) et à des dépenses qui pourraient s'avérer superflues. Le danger pour la crédibilité des mesures d'assainissement que l'on cherche à encourager est bien réel et malheureusement, il est extrêmement rare que des campagnes de mesures in situ et des sondages sérieux soient entrepris dans le cadre des projets de rénovation énergétique. C'est regrettable car le coût de ces travaux préparatoires est dans l'immense majorité des cas sans commune mesure avec les investissements consentis pour les travaux d'assainissement.

**Intervenir sur des constructions existantes et baser une approche d'avant-projet d'assainissement énergétique sur des hypothèses théoriques est délicat.**

## LES BILANS THERMIQUES DES SCÉNARIOS

Pour chaque bâtiment, un scénario de rénovation a permis d'atteindre la valeur-limite de la SIA 380/1 pour les besoins de chaleur. Cependant, seuls trois bâtiments ont atteint cette limite dès le premier scénario. Pour les sept autres, il a fallu mettre en place des mesures d'isolation supplémentaires pour atteindre les objectifs. Dans certains cas, elles ont une conséquence plus importante sur les qualités architecturales du bâtiment [voir études de cas 03, 10] alors que dans d'autres, l'impact se situe sur le coût des travaux, nettement supérieur [voir études de cas 02, 04, 05, 07].

On constate cependant que les scénarios initiaux qui n'atteignaient pas les valeurs-limites, le gain énergétique n'est pas négligeable du point de vue de l'économie d'énergie. Ils permettent d'atteindre entre 68 % et 88 % des gains requis par la norme SIA 380/1 éd. 2009, souvent avec un impact architectural et financier moindre.

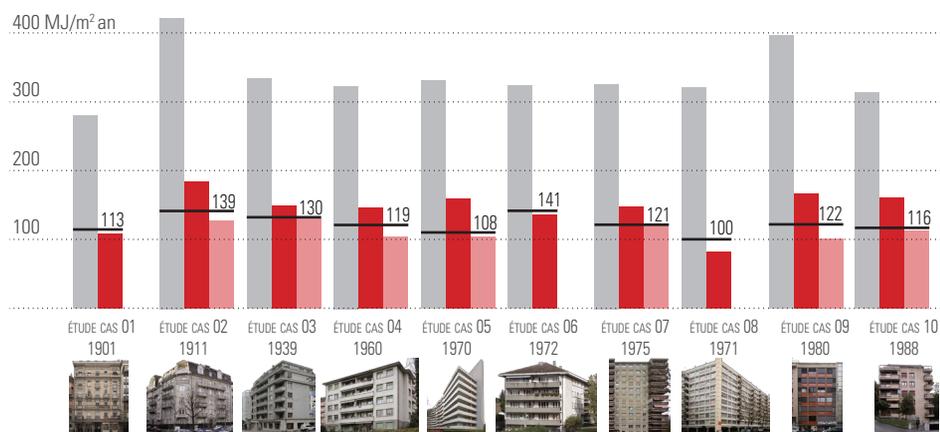


Fig. 49 Représentation des besoins de chaleur pour le chauffage  $Q_h$  « calculés » de l'état existant (gris) et des besoins de chaleur pour le chauffage  $Q_h$  « calculés » les scénarios de rénovation (rouge) en  $MJ/m^2 an$ .

● besoin de chaleur pour le chauffage  $Q_h$  (état existant)  
 ● besoin de chaleur pour le chauffage  $Q_h$  (● scénario 1 – ● scénario 2)  
 — valeur-limite  $Q_{h,li}$  pour la transformation selon norme SIA 380/1 éd. 2009

Parfois, le surcoût pour améliorer de quelques pour cent le gain énergétique est disproportionné. L'étude de cas 07 le démontre. Pour combler les 17 % de gains énergétiques manquant au scénario 1, le coût des travaux augmente d'environ 135 %. Dans le cas 10, un changement de mesures (agrandissement de la SRE) dans le scénario 2, permet d'atteindre la valeur-limite en réduisant les coûts.

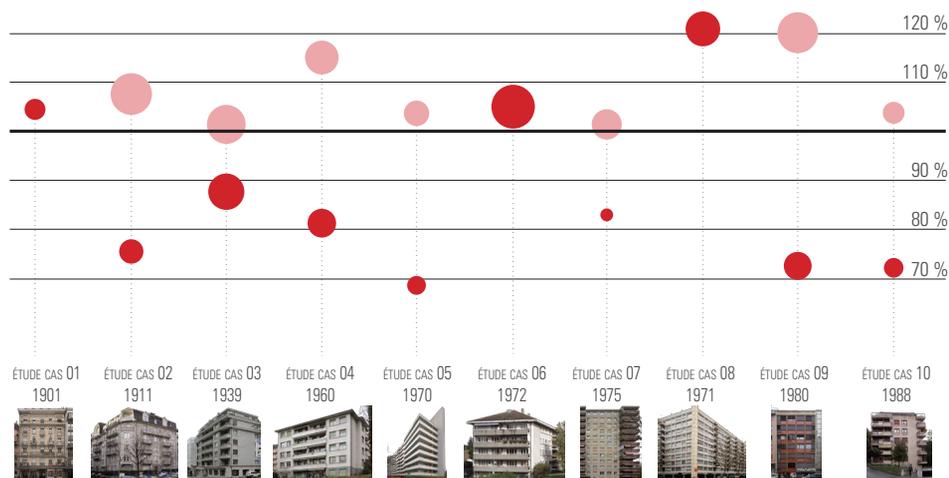
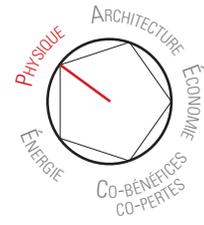


Fig. 50 Graphique représentant l'écart des besoins de chaleur calculés des scénarios par rapport à la valeur-limite SIA 380/1 éd. 2009. La surface des cercles représente le coût des travaux en  $CHF/m^2$  de SRE.

● Scénario 1  
 ● Scénario 2  
 — Valeur-limite SIA 380/1 éd. 2009 des besoins de chaleur pour le chauffage  
 ○ Coût en  $CHF/m^2/SRE$





## LA PHYSIQUE ET LES PONTS THERMIQUES

Lors d'une rénovation énergétique d'un bâtiment, il est essentiel de traiter les ponts thermiques car ils peuvent être responsables d'une part importante des pertes totales par transmission du bâtiment.

### LES DÉPERDITIONS PAR LES PONTS THERMIQUES

Les ponts thermiques linéaires correspondent aux endroits de l'enveloppe thermique ayant des déperditions thermiques supplémentaires par rapport aux pertes considérées à travers les différents éléments de construction. Les pertes sont calculées en fonction de la valeur U de ces éléments, en les considérant comme indépendants les uns des autres. Or ce n'est pas le cas. Ces éléments sont liés les uns aux autres (angle entre toiture et façade ou entre dalle et façade) et ces jointures nécessitent la prise en compte d'un facteur correcteur PSI dans le bilan thermique. Ceci est particulièrement important lorsqu'une rupture d'isolation intervient. Les pertes à travers 1 mètre linéaire de pont thermique peuvent alors être supérieures aux pertes à travers une importante surface de façade ou de toiture.

Le catalogue des ponts thermiques<sup>18</sup> peut être utilisé pour caractériser les ponts thermiques d'un bâtiment. Il regroupe un nombre important de détails de construction standards avec des facteurs PSI précalculés en fonction des valeurs U des différents éléments. Toutefois, il est parfois difficile d'y trouver un détail correspondant à la situation rencontrée. Afin de modéliser le plus précisément possible les déperditions supplémentaires liées à un pont thermique, l'utilisation d'un outil de calcul approprié (par éléments finis) est recommandée. Il permet de considérer une géométrie et des matériaux de construction conformes aux détails de construction réels.

Les scénarios de rénovation analysés permettent de se rendre compte de l'importance de traiter les ponts thermiques. C'est notamment le cas des bâtiments construits dans les années 70 [voir études de cas 07 et 08] pour lesquels l'isolation intérieure de la façade a été remplacée ou ajoutée. Les ruptures d'isolation liées aux nombreuses dalles d'étages ou cloisons intérieures sont responsables de 38 % des pertes à travers l'enveloppe [voir figure 51]. Par contre, un bâtiment construit dans les années 1910, auquel on a appliqué une isolation intérieure à moins de pertes par ponts thermiques [voir étude de cas 02]. Des mesures particulières telles que les retours d'isolation sur les cloisons, planchers ou plafonds améliorent quelque peu ces situations, mais sont souvent difficiles à mettre en œuvre (esthétique, place, coût). Les scénarios de rénovation intégrant une isolation périphérique [voir études de cas 04 et 06] permettent de diminuer ce type de déperditions, particulièrement lorsque l'on rapporte ces pertes aux m<sup>2</sup> d'enveloppe [voir figure 51]. Elles restent cependant élevées. En effet, les nombreuses contraintes de mise en œuvre limitent la continuité parfaite de la couche isolante. Des solutions peuvent alors être trouvées pour limiter les effets néfastes des quelques ponts thermiques subsistants tels que les balcons. Les bâtiments contigus ont des pertes par ponts thermiques nettement inférieurs, entre 9 % et 10 % [voir études de cas 01 et 09].

18 INFOMIND SARL, *Catalogue des ponts thermiques*, Office fédéral de l'énergie OFEN, Berne, 2003.

**Les nombreuses contraintes de mise en œuvre d'une isolation périphérique limitent la continuité parfaite de la couche isolante et créent environ 15% de pertes par les ponts thermiques selon les cas d'étude.**

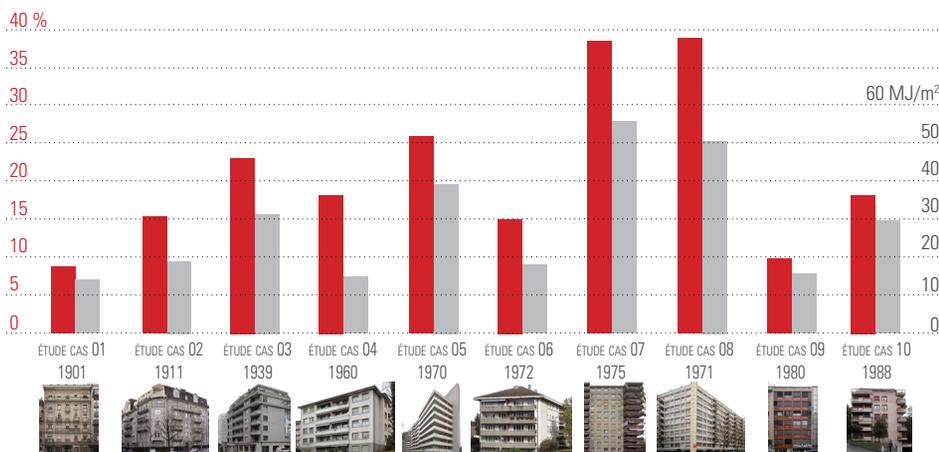


Fig. 51 Représentation des ponts thermiques (sans tenir compte des pertes par aération) pour chaque scénario atteignant la valeur-limite SIA 380/1 éd. 2009.

- part des pertes par ponts thermiques en % (sans tenir compte des pertes par aération)
- pertes par ponts thermiques (sans tenir compte des pertes par aération) en MJ/m<sup>2</sup> de surface d'enveloppe

Fig. 52 Illustration des températures au raccord de la dalle à la façade dans l'étude de cas 07, scénario 2.

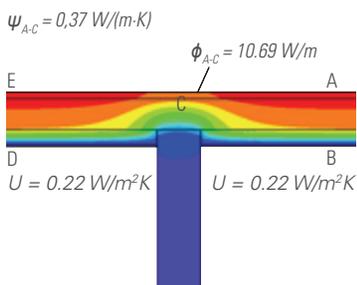
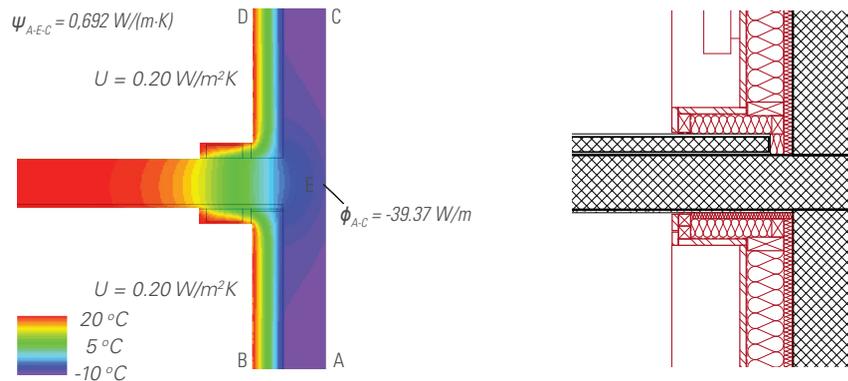


Fig. 53 Illustration des températures au raccord de la dalle sur le sous-sol et des cloisons intérieures du sous-sol dans l'étude de cas 03.



Plusieurs cas de figure ont été rencontrés et analysés. Le remplacement des balcons par des éléments autoporteurs indépendants de la façade réduit considérablement les pertes et supprime les ponts thermiques des balcons [voir étude de cas 06]. Dans d'autres cas, il a été choisi de réaliser des retours d'isolation au-dessous et au-dessus des dalles de balcons [voir études de cas 04, 05]. Cette mesure a réduit les ponts thermiques liés aux balcons afin de satisfaire aux exigences de la norme SIA 380/1 éd. 2009, et son effet important sur les déperditions thermiques (env. 20 % dans l'étude de cas 05). Parfois, les balcons ont été transformés en loggias et ils ont été inclus dans la surface chauffée [voir étude de cas 10]. Ce qui a comme double effet d'augmenter la surface de référence énergétique et de supprimer le pont thermique du balcon par la mise en place d'une isolation périphérique.

L'isolation intérieure des façades est généralement discontinue au niveau des dalles d'étage [voir étude de cas 07, figure 52]. Des retours d'isolations sont installés aussi bien au niveau du plancher que du plafond. Cette situation va générer des pertes supplémentaires de 0,69 W/(mK) par rapport aux pertes calculées en considérant un mur avec une valeur U de 0,2 W/(m²K) sur toute sa surface.

Une isolation placée sous la dalle contre des locaux non chauffés est fréquemment discontinue [voir étude de cas 03, figure 53]. Les nombreux murs intérieurs du sous-sol génèrent des pertes thermiques supplémentaires de 0,37 W/(mK) dans cette étude de cas. Ces ruptures d'isolation sont responsables d'environ 45 % des déperditions totales à travers la dalle.

Mis à part les dalles de balcon, les caissons de stores ainsi que les jonctions entre les nouveaux cadres de fenêtres et les façades existantes se sont souvent révélés problématiques. Un soin particulier des retours d'isolation autour des cadres et entre les cadres et les murs permettent de régler ces points délicats [voir chapitre sur l'humidité superficielle], qui, dans la réalité sont malheureusement souvent négligés. En ce qui concerne les caissons de stores, dans les meilleurs des cas, ils ont été supprimés au profit de stores en toiles déportés aux extrémités des dalles de balcon [voir étude de cas 05], ou de nouveaux stores à lames orientables ont été intégrés dans l'isolation périphérique [voir étude de cas 01,06] ou à la nouvelle façade [voir étude de cas 09]. Ces mesures permettent un assainissement optimal de ces éléments. Dans les autres cas, la mise en place d'une isolation à l'intérieur des caissons [voir étude de cas 03], ou par-dessus le caisson intérieur [voir étude de cas 10], ou encore le remplacement de ceux-ci par des caissons isolés [voir études de cas 04,07, 08] ont été étudiés en détail afin de réduire les déperditions thermiques de ces éléments, mais surtout afin d'éviter au maximum les éventuels risques de condensation.

## L'HUMIDITÉ SUPERFICIELLE

Les faiblesses de l'isolation ainsi que les caractéristiques géométriques des ponts thermiques peuvent également engendrer des températures de surfaces intérieures relativement faibles. Ces situations peuvent causer l'apparition de condensation, puis de moisissures. En fonction de la situation géographique du bâtiment, la norme SIA180, éd. 2014 définit un facteur de température superficielle minimal (fRsi) au-dessus duquel le risque de condensation est exclu pour autant que la moyenne journalière de l'humidité relative intérieure ne dépasse pas une limite donnée. Les difficultés liées à la mise en œuvre (construction non conforme) ou à une utilisation inadéquate par les occupants (production excessive d'humidité) ne sont pas considérées dans ce calcul. Une valeur de fRsi supérieure ou égale à 0,72 est requise pour s'assurer de la conformité d'un détail de construction sur le plateau romand. Un résultat inférieur ne signifie pas qu'il y aura auto-

**Les faiblesses de l'isolation peuvent engendrer des températures de surfaces intérieures relativement faibles et causer l'apparition de condensation, puis de moisissures.**

matiquement de la condensation ou des moisissures, mais si cela se produit, ingénieurs et architectes pourraient en être tenus responsables. Une mesure de rénovation visant à améliorer la performance thermique de l'enveloppe ne permet pas toujours d'éviter des problèmes de températures de surfaces trop faibles. Parfois, de nouvelles problématiques peuvent même apparaître. Il est donc important d'analyser les ponts thermiques aussi bien du point de vue thermique qu'hygrométrique.

Le logiciel employé (Flixo Energy) calcule la distribution des températures dans le modèle et peut donc en déduire un fRsi, en fonction de la température de surface et des températures ambiantes intérieures et extérieures. D'une manière générale, les angles (type dalle – façade ou façade – toiture) sont à surveiller. En effet, une surface de contact avec l'air plus grande du côté extérieur que du côté intérieur nécessite d'apporter un soin particulier au raccord d'isolation.

Les ruptures d'isolation causées par des dalles d'étages, des balcons ou des murs intérieurs sont également à examiner. Des retours d'isolation [voir étude de cas 07, figure 52], permettent généralement de régler ces cas. La longueur d'un retour d'isolation a habituellement plus d'influence sur le fRsi que son épaisseur.

La discontinuité de l'isolation entre une façade sur laquelle a été apposé un crépi isolant à l'extérieur et une dalle de comble isolée par le dessus engendre une température de surface relativement faible dans l'angle [voir étude de cas 03, figure 54]. Ces mesures de rénovation, telles qu'elles avaient été initialement définies, ne sont pas conformes aux recommandations de la norme SIA 180, éd. 2014, car elles conduisent à un fRsi inférieur à 0,72. La situation a pu être corrigée en isolant l'angle intérieur sur une longueur suffisante, à la fois contre le mur et le plafond.

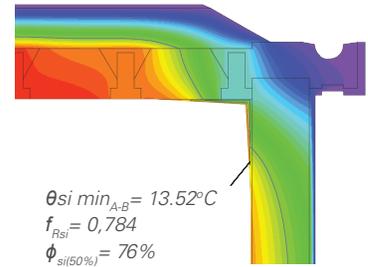


Fig. 54 Illustration des températures au raccord de la dalle des combles et de la façade dans l'étude de cas 03.

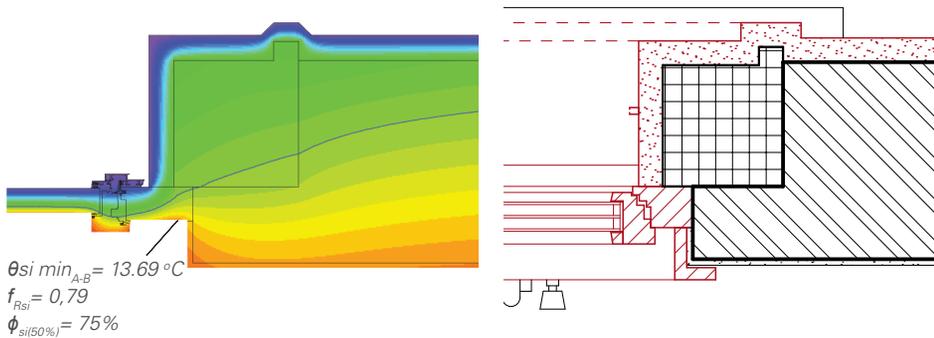


Fig. 56 Illustration des températures dans l'embrasure de l'étude de cas 03. Les embrasures en pierre naturelle ont été, tout comme les façades, recouvertes de crépi isolant.

Lorsque des caissons de stores sont mis en œuvre à l'intérieur, le fRsi est très sensible à la fixation du cadre et au positionnement de l'isolant. Une isolation dans la partie inférieure du caisson, sur toute sa longueur, a permis d'augmenter la température de surface dans l'angle entre le cadre et le caisson et à atteindre un fRsi admissible.

Sur de nombreux scénarios de rénovation analysés, les raccords des fenêtres à la façade s'avéraient critiques. Les températures de surfaces, à l'angle intérieur entre le cadre et le mur, étaient relativement faibles. Dans le cas de bâtiments isolés par l'extérieur, un retour de l'isolation dans l'embrasure, jusqu'au cadre, permet généralement de régler ces problèmes [voir étude de cas 03, figure 56]. Dans le cas où l'on souhaite conserver l'aspect original des embrasures, des solutions alternatives doivent être trouvées. Différents essais ont montré qu'une isolation apposée contre une partie du cadre à l'intérieur peut engendrer des températures encore plus faibles à la surface de la partie de cadre non isolée. La pose d'un isolant entre le cadre et le mur améliore la situation [voir étude de cas 02, figure 57].

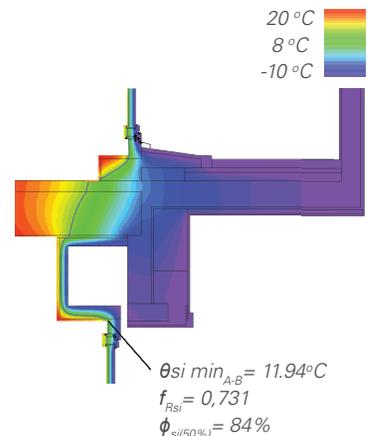


Fig. 55 Illustration des températures dans la construction du caisson de store de l'étude de cas 04.

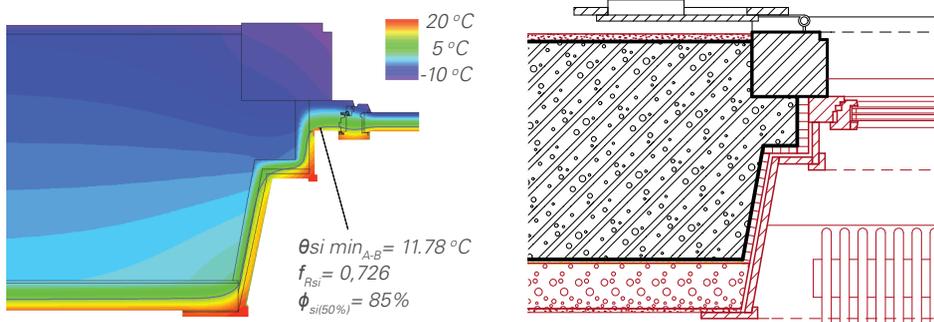


Fig. 57 Illustration des températures dans l'embrasure de l'étude de cas 02. Les embrasures en pierre naturelle ont été maintenues apparentes, une isolation de 3 à 5 cm a été insérée entre la façade et le cadre afin d'atteindre des températures de surface admissible dans l'angle.

**Dans tous scénarios de rénovation, il s'agit de s'assurer que les différents éléments de construction d'un bâtiment sont exempts de problèmes liés à la diffusion de vapeur d'eau.**

**Il est difficile et peu réaliste de croire que dans les conditions de chantiers et en particulier dans la transformation, il est possible de répondre pleinement aux exigences de la pose d'un pare-vapeur dans les règles de l'art et durable.**

## LES RISQUES DE L'HUMIDITÉ INTERSTITIELLE

Certains détails de construction peuvent présenter un risque de condensation intérieure, aux interfaces entre les différents matériaux, lorsque la pression de la vapeur d'eau est supérieure à la pression de saturation. La méthode de Glaser (ISO13788) permet de s'assurer que les différents éléments de construction d'un bâtiment sont exempts de problèmes liés à la diffusion de vapeur d'eau. Concernant les scénarios de rénovation étudiés dans le cadre de ce projet, une attention particulière a dû être portée lorsque les bâtiments sont rénovés par l'intérieur [voir études des cas 07, 08, 02]. Deux types d'intervention se distinguent. Un premier type, avec une barrière-vapeur, prévoit la pose d'une isolation en laine minérale à l'intérieur avec un pare-vapeur [voir études des cas 07, 08] alors qu'un second type, sans barrière-vapeur, prévoit des panneaux minéraux à l'intérieur couplés avec un crépi isolant extérieur [voir étude des cas 02]. Dans le premier cas, la mise en œuvre d'un pare-vapeur dans les règles de l'art est difficile à obtenir [voir chapitre *Limites de l'isolation intérieure*], mais elle est une condition indispensable à la pose d'une épaisseur d'isolation importante. Dans le second cas, l'utilisation de panneaux minéraux particuliers, ouverts à la diffusion de vapeur, permet d'éviter la mise en place d'un pare-vapeur mais limite parfois l'épaisseur de l'isolant à une dizaine de centimètres avant l'apparition possible de condensation.

Les outils à disposition dans ce projet de recherche ne permettent pas d'analyser cette problématique de manière complète. En effet, Lesosai se limite aux simples éléments de construction. Les endroits plus complexes tels que les jointures d'éléments nécessitent l'utilisation d'outils spécifiques (par exemple WUFI) pour s'assurer de l'absence de problème. Les détails de construction tels que les encastresments des planchers d'étages en bois [voir étude des cas 02] constituent une situation sujette à une détérioration des têtes de poutres<sup>19-20</sup> en bois causée par l'humidité. Étant donné les difficultés de mise en œuvre d'un pare-vapeur étanche dans une telle situation, une analyse dynamique, basée sur un modèle en trois dimensions, serait nécessaire.

## LES LIMITES DE L'ISOLATION THERMIQUE PAR L'INTÉRIEUR

La mise en œuvre d'une isolation par l'intérieur est délicate. Plus l'isolation intérieure est performante et donc épaisse, plus la température de la paroi qui se trouve derrière s'abaisse, car elle ne bénéficie plus de l'apport de chaleur venant de l'intérieur. La vapeur, qui va traverser l'isolation et entrer en contact avec cette surface froide, va condenser sur celle-ci et se transformer en eau. Si cette eau ne peut pas sécher, elle va faire pourrir les matériaux sensibles, par exemple les têtes des poutres en bois [voir études de cas 01, 02]. Dans ces conditions, des moisissures vont également se développer.

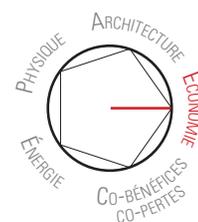
Il est possible de limiter la migration de vapeur par la pose d'un frein vapeur. Toutefois, la mise en œuvre de cette feuille (polyamide et polypropylène) requiert un savoir-faire et une grande rigueur. Les feuilles doivent être collées entre elles et contre les supports divers (dalles, poutres...) avec des bandes autocollantes spécifiques à haute performance. Par ailleurs, cette couche ne doit jamais être percée pendant le chantier ni par la suite. Il est difficile et peu réaliste de croire que dans les conditions de chantiers et en particulier dans la transformation, il est possible de répondre pleinement à ces exigences. La durée de vie des bandes autocollantes est limitée (les fabricants ne donnent en général pas de garanties de longue durée) et à long terme, il est fort probable que la vapeur pourra migrer plus facilement avec le risque de condensation que l'on connaît.

La pluie battante et les processus d'infiltration par capillarité et absorption dans les structures du bâtiment doivent également être pris en compte. L'emploi de logiciels dynamiques est indispensable pour vérifier ces situations.

Une étude réalisée par le bureau Gartenmann Engineering SA et publiée dans la revue de la SIA Tracés n° 19 du 5 octobre 2011 conclut que compte tenu des difficultés décrites brièvement ci-dessus, il est préférable d'utiliser des panneaux isolants intérieurs minéraux ou silico-calcaires d'une épaisseur de 6 à 8 cm, perméables à la vapeur d'eau, offrant une grande capacité d'assèchement et ne nécessitant pas la pose d'un frein vapeur.

19 MAUGARD, Alain, «*Pathologie des risques liés à l'humidité au niveau des poutres encastrees dans un mur extérieur isolé par l'intérieur*», Programme d'accompagnement des professionnels «*Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012*», septembre 2013.

20 GAUTHIER, Frank, «*Poutres encastrees et isolation intérieure*», *Qualité construction*, 142 (37 à 39), janvier 2014.



# ÉCONOMIE

Étant donné l'importance des montants en jeu, la question des coûts est centrale dans tout projet d'assainissement énergétique, en particulier dans les immeubles de logement collectif. Dans la majorité des cas, les charges de chauffage sont supportées directement par les locataires, ce qui implique que les économies d'énergie ne profitent pas directement au propriétaire qui assume le coût des travaux. Un report des frais d'assainissement sur les loyers s'avérant souvent problématique, on comprend pourquoi nombre de propriétaires d'immeubles de rendement sont peu motivés par la perspective d'un projet d'assainissement énergétique.

La présente étude ambitionne de trouver un juste équilibre entre les exigences énergétiques, la préservation du caractère architectural, les valeurs d'usage et les contraintes économiques. Il est donc indispensable de procéder à un chiffrage financier permettant de compléter les scénarios afin que ce paramètre puisse être pris en considération et fournir une vision globale de la problématique.

Tous les scénarios étudiés ont été chiffrés (hors coûts de financement), ce qui permet de mettre en perspective les gains énergétiques attendus avec les investissements nécessaires pour les obtenir, de comparer l'impact financier des différents scénarios et de vérifier la viabilité économique des solutions retenues (privilégiant la préservation du caractère architectural) par rapport aux solutions d'emballage périphérique communément mises en œuvre de nos jours.

**L'objectif est de vérifier la viabilité économique des solutions retenues privilégiant la préservation du caractère architectural par rapport aux solutions d'emballage périphérique communément mises en œuvre de nos jours.**

## LA MÉTHODE

L'estimation des coûts de réalisation des scénarios sous la forme d'un devis général a été menée selon la méthode du code des coûts de construction du bâtiment (eCCC-Bât) édictée par le centre de rationalisation du bâtiment (CRB), soumis à la norme SN 506 511. Les groupes principaux (A. Terrain, B. Travaux préparatoires, C. Gros œuvre, D. Installations, etc.) se décomposent en Groupes d'éléments (C1. Fondations, C2. Parois porteuses, C3. Piliers, etc.) eux-mêmes décomposés en éléments (C1.1 Canalisations sous le bâtiment, C1.2 Etanchéité et isolation sous dalle de sol et radier, C1.3 Massifs de fondation, semelles filantes, etc.). La liste des éléments proposée par la méthode eCCC-Bât n'est pas exhaustive et peut ainsi être complétée et adaptée à chaque projet de construction.

Des mètres ont été établis pour quantifier chaque élément. Les unités courantes sont le mètre carré (m<sup>2</sup>) pour les surfaces de toiture, de plancher, de façade, etc., les mètres linéaires (m<sup>1</sup>) pour les longueurs de garde-corps, de ferblanterie, de retours d'isolation ou les pièces (pces) pour les éléments finis livrés sur le chantier tels que fenêtres, portes, radiateurs, etc.

Un prix unitaire en CHF (TVA incluse) est attribué à chaque élément. Dans le cadre de cette étude, les prix ont été définis de trois manières :

- issus de l'expérience professionnelle de bureaux d'architecture travaillant activement dans la rénovation en Suisse romande.
- tirés de catalogues et séries de prix (par exemple, série de prix indicatifs pour travaux du bâtiment et génie civil éditée tous les deux ans par la Fédération vaudoise des entrepreneurs – FVE)
- déterminés sur la base d'offres d'entreprises, en particulier pour les éléments spécifiques (façade métallique, caissons préfabriqués, fenêtres de remplacement à l'ancienne, etc.).

Les coûts des éléments ont été uniformisés quelle que soit la situation géographique du modèle. Un coefficient appliqué à chaque élément permet de pondérer son coût unitaire en fonction de la complexité de sa mise en œuvre. Un coefficient de 1 est attribué lorsque l'opération est considérée comme standard. Un coefficient supérieur à 1 est pris en compte lorsque la complexité de mise en œuvre est élevée et inversement.

Certains travaux qui ne peuvent être évités en raison de la nature de l'intervention, mais qui sont apparentés à de l'entretien périodique ont été inclus dans les chiffrages avec un coefficient inférieur à 1. Par exemple, lors du remplacement des fenêtres, des travaux de peinture sont indispensables et en général le propriétaire en profitera pour faire rafraîchir l'ensemble de la pièce, voire de l'appartement, ce qui fait partie des frais d'entretien usuels. Dans ce cas, le rafraîchissement de l'entier du logement a été inclus

dans le chiffrage, mais avec un coefficient variant de 0,6 à 0,8, en fonction des situations. Même remarque concernant les cuisines et les sanitaires qui doivent être remplacés lors des interventions contenant de l'isolation intérieure.

Les éléments sont regroupés par famille (façade, toiture, plancher contre terre ou sur sous-sol, attiques, etc.) à des fins d'analyse. Finalement, le coût des éléments de construction de chaque scénario est complété par les coûts indirects (coûts d'étude, divers et imprévus, frais administratifs) pour définir une somme totale. C'est cette dernière qui est reportée sur les fiches de chacun des modèles et qui correspond aux détails présentés sur la fiche.

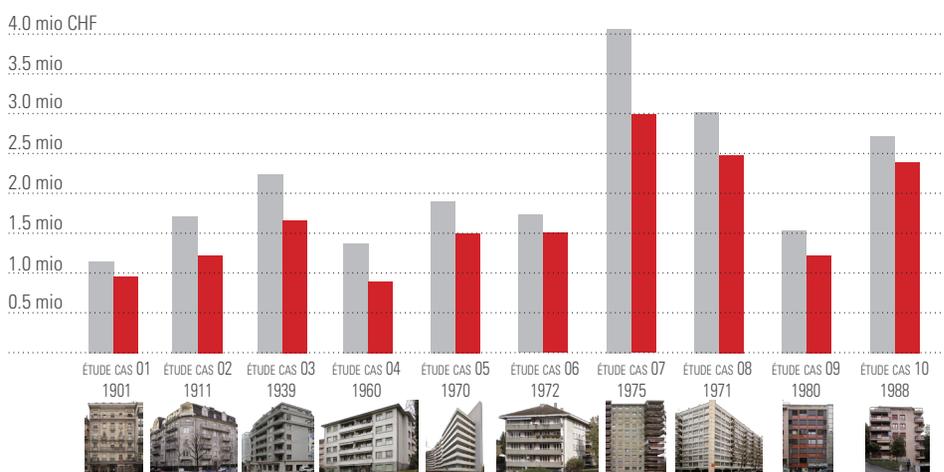
## LES COÛTS LIÉS À L'ASSAINISSEMENT ÉNERGÉTIQUE

Dans l'analyse économique d'un assainissement énergétique, les coûts des travaux qui doivent être considérés sont ceux qui ne sont entrepris qu'à des fins d'économie d'énergie, à l'exclusion des frais d'entretien et de ravalement usuels qui auraient dû être engagés à moyen ou long terme dans le cadre du plan de maintenance de l'immeuble, pour des raisons de vétusté et de conservation de la valeur du bien immobilier. En l'absence d'une méthodologie claire et reconnue concernant la répartition des coûts globaux entre assainissement, entretien courant et améliorations non liées à l'énergie, nous avons pris le parti d'exclure certains éléments selon notre logique propre au moment de passer à l'analyse de l'impact financier des mesures proposées.

Ces coûts collatéraux ont été isolés dans les chiffrages des scénarios et exclus des coûts purement relatifs à l'assainissement énergétique. Ils concernent principalement les éléments suivants :

- solde des travaux de peinture dans les appartements et du remplacement des cuisines et sanitaires qui demeurait dans le devis général .
- remplacement des stores toiles.
- maintenance des fenêtres et volets (changement des joints et garnitures, réglages, peinture, etc.).
- ravalement des façades crépies.
- étanchéités sur les toitures plates.

Fig. 58 Graphique représentant la correspondance entre les coûts de rénovation totaux (en gris) et les coûts liés exclusivement à l'assainissement énergétique (en rouge).



● coût total de rénovation en CHF  
● part des coûts liée exclusivement à l'assainissement énergétique

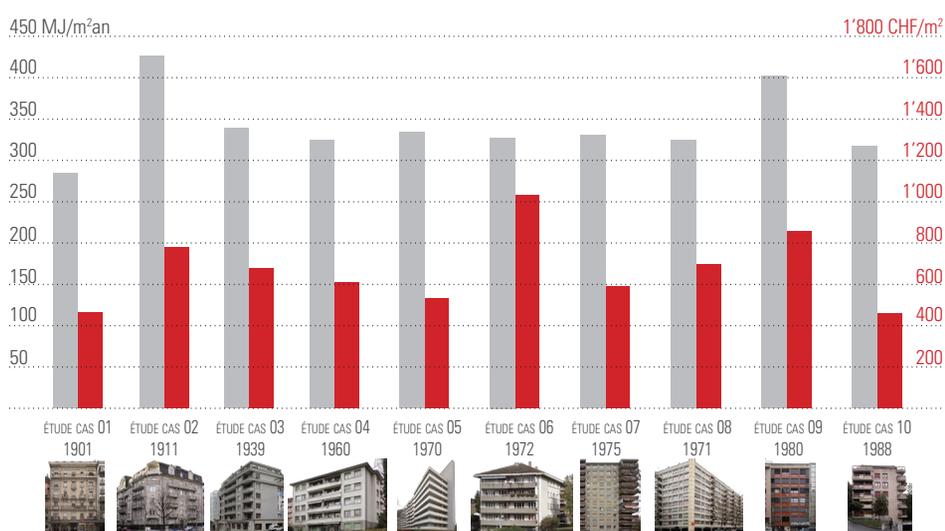
En moyenne, les coûts strictement imputables à l'assainissement énergétique dans les scénarios retenus se montent à environ 75 % du total.

Sauf indication contraire, les coûts et ratios analysés plus avant sont basés sur les coûts d'assainissement à l'exclusion des travaux de rénovation ordinaire. Ceci peut expliquer des écarts dans les ratios par rapport aux fiches des modèles.

L'angle de vue habituellement retenu est celui du coût par mètre carré de surface de référence énergétique (SRE). D'une manière générale, les investissements nécessaires pour atteindre les objectifs énergétiques fixés par la norme SIA 380/1 éd.2009 sont élevés car seules des interventions lourdes et en général onéreuses (remplacement des fenêtres, isolation des parties pleines, etc.) permettent de satisfaire aux exigences actuelles.

## LES COÛTS EN LIEN AVEC LA CONSOMMATION EXISTANTE

Sur l'échantillon étudié, on n'observe pas de corrélation entre l'époque de construction et le coût de l'assainissement énergétique. En revanche, un certain lien existe entre la consommation d'énergie de chauffage du bâtiment avant travaux et le coût de rénovation : lorsqu'un bâtiment présente une consommation d'énergie élevée, les coûts de rénovation par m<sup>2</sup> de SRE seront proportionnellement élevés. La corrélation entre ces deux grandeurs n'est cependant pas très élevée (coefficient de corrélation d'environ 0,4 – corrélation parfaite à 0 et décorrélation totale à 1) car les coûts ne sont pas exclusivement liés aux mesures énergétiques « in abstracto », mais tributaires des caractéristiques architecturales, géométriques et constructives de l'immeuble.



**Les coûts ne sont pas exclusivement liés aux mesures énergétiques « in abstracto », mais tributaires des caractéristiques architecturales, géométriques et constructives de l'immeuble.**

Fig. 59 Graphique représentant la correspondance entre consommation énergétique calculée (en gris) et l'investissement financier (en rouge).

- consommation calculée des bâtiments avant travaux en MJ/m<sup>2</sup>/an
- rapport coûts/SRE en CHF/m<sup>2</sup>

Ce ratio est utile car il permet de mettre en relation le coût des travaux avec les loyers (considérés en francs par mètre carré de surface locative qui peuvent être rapprochés aux mètres carrés de SRE) et leur éventuelle adaptation suite aux travaux. Cependant, il ne met pas en relation les dépenses et le gain énergétique, autrement dit, l'efficacité énergétique des dépenses consenties. Un scénario peut proposer un coût par mètre carré de SRE peu élevé, mais s'avérer moyen en matière d'efficacité énergétique pour chaque franc investi. Ceci est vrai en particulier lorsque la consommation avant travaux est déjà relativement proche de celle qui doit être atteinte.

## L'EFFICACITÉ DES MESURES DE RÉNOVATION

Pour illustrer l'efficacité de chaque scénario, nous avons calculé l'investissement nécessaire en francs pour économiser 1 MJ de besoin de chauffage. Cette analyse montre que le modèle 01, qui est le moins onéreux en CHF par m<sup>2</sup> de SRE (31 % en dessous de la moyenne) ne se situe que 10% en dessous de la moyenne en matière de coût par MJ économisé (moyenne par ailleurs fortement impactée à la hausse par le modèle 06). Ceci est à mettre en relation avec le fait que le bâtiment dans son état actuel est déjà relativement performant.

Le modèle 06 est le plus cher en CHF/m<sup>2</sup> de SRE mais de peu. Par contre, en matière d'efficacité énergétique, il est de très loin le pire.

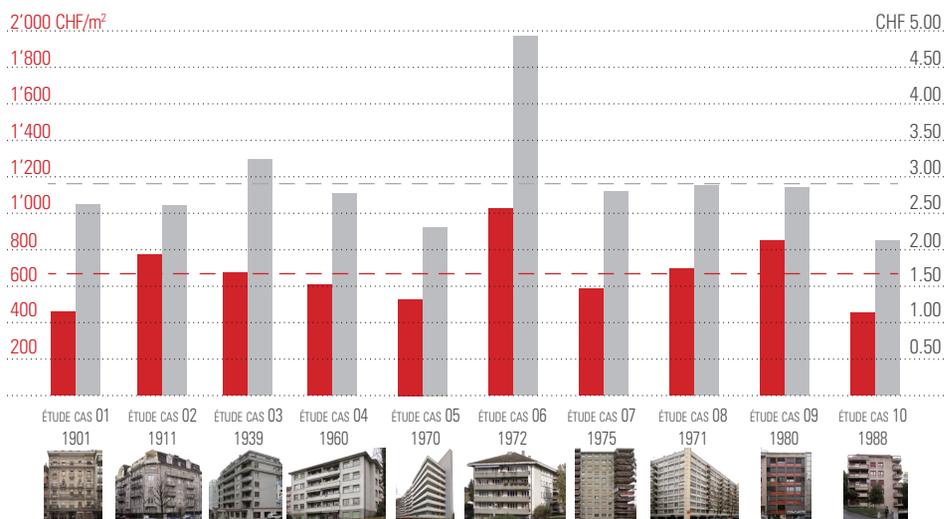
À investissement similaire par m<sup>2</sup> de SRE, chaque franc dépensé peut avoir un impact énergétique bien différent. L'analyse d'efficacité permet de s'en rendre compte et d'orienter les investissements là où ils s'avéreront les plus efficaces. Dans une optique de pure efficacité énergétique, on investira en priorité dans les modèles 05 ou 10, avant de s'occuper du modèle 01. La simple observation du critère de francs par m<sup>2</sup> de SRE aurait conduit à la décision inverse.

De manière globale, l'investissement et le gain financier lié aux économies d'énergie peuvent être mis en relation. En considérant le coût moyen de CHF 2.91 sur les 10 modèles pour économiser 1 MJ/an et un prix de l'énergie<sup>21</sup> de 3.2ct/MJ on calcule un rapport de 90 pour 1, soit une durée de retour sur investissement moyenne de 90 ans. Dans le meilleur des cas (modèle 10) la durée est ramenée à environ 70 ans.

21 prix moyen du litre de mazout de chauffage entre 2010 et 2015 pour un volume de 9001 à 14'000 litres = CHF 0.91 (source OFS). 1 litre de mazout équivalant approximativement à 10kWh, soit 36MJ. Le coût de 1 MJ = 2.5ct pour le besoin de chauffage, soit 3.2ct/MJ après correctif lié au rendement de la chaudière considéré à 80% (selon la norme SIA 380/1 (2009).

Fig. 60 Graphique représentant la correspondance entre coût par MJ économisé en besoin de chauffage (en rouge) et investissement financier (en gris).

- rapport coûts/SRE en CHF/m<sup>2</sup>
- coût en CHF pour chaque MJ en besoin de chauffage économisé
- valeur médiane



Selon la norme SIA 480 éd. 2004 « *Calcul de rentabilité pour les investissements dans le bâtiment* », la durée de vie technique approximative pour un usage moyen est estimée à 40 ans pour le chauffage, la ventilation, les protections solaires et les toitures, 50 ans pour les fenêtres et 70 ans pour les façades. Le retour sur investissement des scénarios proposés est systématiquement supérieur à ces durées. Un calcul affiné par actualisation des cash-flows futurs ne changerait pas fondamentalement le résultat.

**Tant que le prix de l'énergie restera aux niveaux actuels, les projets d'assainissement énergétique resteront très éloignés du seuil de rentabilité et ne pourront être justifiés sur le seul critère économique.**

Tant que le prix de l'énergie restera aux niveaux actuels, les projets d'assainissement énergétique ne pourront être justifiés sur le seul critère de l'économie d'énergie réalisée à futur. Cette conclusion doit cependant être mise en perspective et ne peut constituer à elle seule une raison valable de différer ou d'abandonner simplement tout projet de rénovation énergétique :

- les bâtiments construits durant la période passée en revue dans l'étude sont vieillissants (moyenne de 55 ans d'âge pour les dix cas d'étude). Ils ne correspondent plus aux standards actuels en matière d'habitabilité et de normes techniques. Le propriétaire souhaitant maintenir la valeur de son bien n'a pas d'autre choix que d'intervenir et lorsque cette intervention va au-delà du cosmétique, la réglementation impose d'atteindre les valeurs de consommation de la norme SIA 380/1 (2009). L'assainissement énergétique est donc obligatoirement inclus dans les travaux de rénovation.
- la pression politique est importante et la réglementation peut évoluer de l'incitation à l'obligation, ou à la taxation de plus en plus lourde des énergies fossiles.
- la prise de conscience individuelle par les propriétaires de leur responsabilité peut être un élément déclencheur dans un projet de rénovation énergétique, prenant le pas sur les considérations de rendement économique.

## LE GAIN ÉNERGÉTIQUE ET L'ANALYSE DES SCÉNARIOS

L'analyse des différents scénarios proposés pour chaque modèle et de leur efficacité énergétique mise en relation avec leur coût d'intervention (ici le coût total y compris les travaux d'entretien ordinaire) est également intéressante.

Ce diagramme montre que dans certains cas on réalise une économie d'énergie substantielle, mais insuffisante au regard de la norme pour des coûts qui sont nettement inférieurs à ceux du scénario qui permet d'atteindre les valeurs requises. Ce n'est pas systématique, mais cela est le cas pour le modèle 07, et dans une moindre mesure pour les modèles 02 et 03.

Dans le cas des scénarios qui se rapprochent de très près de l'économie énergétique demandée (90 % et plus), il y aurait probablement moyen d'arriver à respecter les prescriptions sans effet de seuil en matière financière en réglant, en améliorant ou remplaçant les installations techniques par exemple.

Dans le cas du modèle 07, il existe un effet de seuil. La différence entre les scénarios 1 et 2 tient à l'isolation de la façade, qui représente un montant très élevé. On peut imaginer que le solde d'économie à réaliser (11 %) pourrait aisément être atteint en n'isolant qu'une partie des façades.

Dans le cadre d'un avant-projet réel, d'autres considérations qui n'ont pas pu être étudiées dans le cadre de cette étude entreraient en ligne de compte : taux de renouvellement d'air, efficacité des installations techniques, etc.

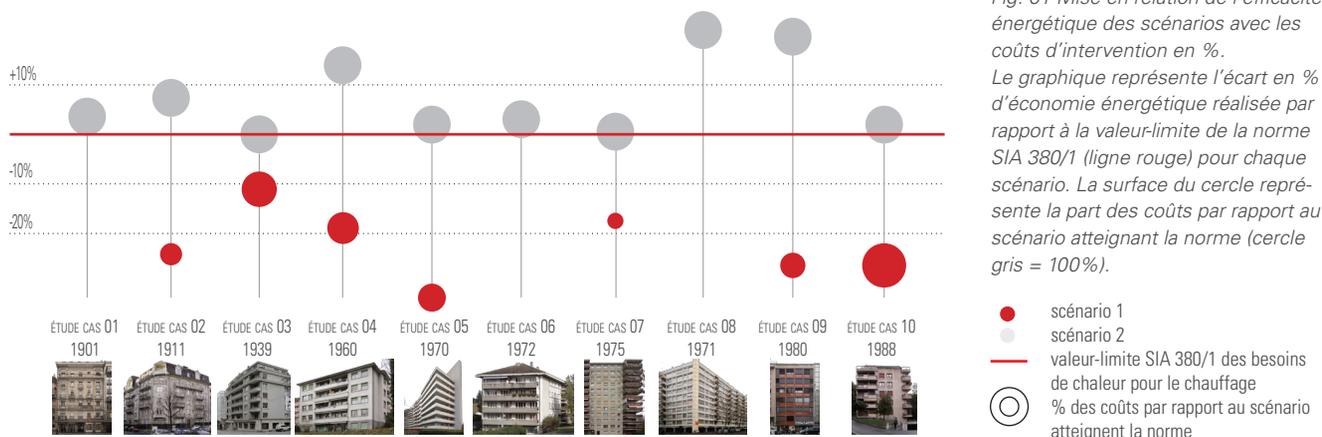


Fig. 61 Mise en relation de l'efficacité énergétique des scénarios avec les coûts d'intervention en %. Le graphique représente l'écart en % d'économie énergétique réalisée par rapport à la valeur-limite de la norme SIA 380/1 (ligne rouge) pour chaque scénario. La surface du cercle représente la part des coûts par rapport au scénario atteignant la norme (cercle gris = 100%).

- scénario 1
- scénario 2
- valeur-limite SIA 380/1 des besoins de chaleur pour le chauffage
- % des coûts par rapport au scénario atteignant la norme

L'analyse ci-dessus met en évidence la divergence majeure qui peut exister entre capacités technique et économique de l'ouvrage et de son propriétaire et valeurs énergétiques normatives, qui peuvent s'avérer disproportionnées eu égard à la substance du bâtiment.

La réponse n'est pas univoque et une des conclusions générales de notre recherche s'applique ici aussi : chaque cas est particulier et mérite qu'une étude approfondie soit menée avant d'appliquer des solutions toutes faites qui ne seraient pas forcément adéquates.

## LE MAINTIEN DU CARACTÈRE ARCHITECTURAL N'ENGENDRE PAS FORCÉMENT DE SURCÔÛT

Le chiffrage des scénarios d'intervention permet de tirer plusieurs enseignements.

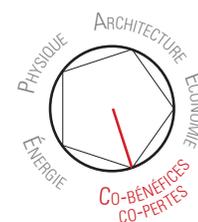
Le parti pris de l'étude consistant à privilégier le maintien des caractéristiques architecturales de l'enveloppe des bâtiments étudiés n'engendre pas de surcoûts particuliers, contrairement à certaines idées reçues. Des chiffrages parallèles menés sur certains modèles pour des solutions d'emballage en isolation externe (isolation périphérique crépie et façade ventilée sur isolation externe) ont débouché sur des écarts de l'ordre de 15 % maximum, et pas systématiquement dans le sens d'un surcoût pour la solution respectueuse des caractéristiques architecturales de l'immeuble. Ces différences se situent dans la marge de variation admissible à ce stade du projet.

Un assainissement énergétique visant à respecter la norme 380/1 éd. 2009 nécessite, sur l'ensemble des modèles, des travaux conséquents (changement des fenêtres, isolation des façades, etc.) qui entraînent d'importantes dépenses allant bien au-delà des besoins en financement pour des rénovations ordinaires à minima, sans plus-value énergétique. Cependant, des questions de vétusté, de mise à niveau du standing des appartements, de gain de surfaces locatives par densification, etc. peuvent être couplées à la rénovation énergétique qui, dans cette approche globale de la problématique, s'en trouve parfaitement justifiée.

Certains scénarios n'atteignant pas les exigences de la norme, mais s'en rapprochant grandement présentent des coûts moindres en pourcentage relatif. L'effort financier à consentir pour réaliser l'économie des derniers mégajoules apparaît important, mais il serait erroné d'en tirer des conclusions générales. Dans ces situations, il serait utile de remettre l'ouvrage sur le métier et d'élaborer un scénario alternatif, d'intervenir sur les installations techniques ou sur les sources d'énergie pour tenter d'atteindre la norme pour un coût intermédiaire.

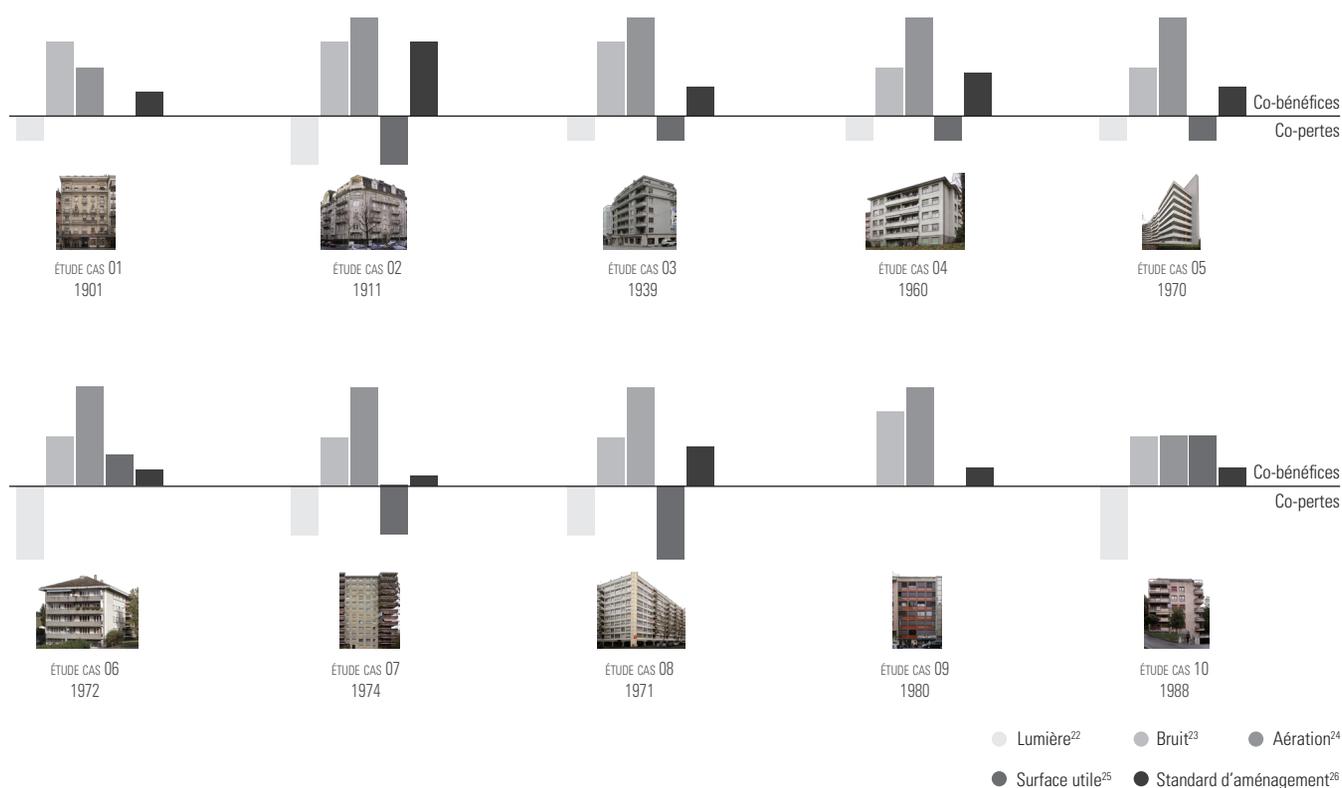
**Le parti pris de l'étude consistant à privilégier le maintien des caractéristiques architecturales de l'enveloppe des bâtiments étudiés n'engendre pas de surcoûts particuliers, contrairement à certaines idées reçues.**





# LES CO-BÉNÉFICES ET LES CO-PERTES

Une amélioration de l'isolation thermique de l'enveloppe du bâtiment a inévitablement des conséquences sur l'utilisation des espaces et leurs qualités. Elle peut apporter des « co-bénéfices », mais aussi des « co-pertes » souvent sous-estimés. Même s'ils ne peuvent être financièrement chiffrés, il serait faux d'en faire abstraction lors de l'évaluation d'une intervention. Dans chaque scénario, une évaluation a été faite afin de tenir compte d'une vue globale des forces et des faiblesses de chaque intervention.



**La lumière<sup>22</sup>**: une isolation des façades augmente la profondeur d'embrasure [voir études de cas 01, 06, 07, 08], réduit fréquemment le vide de maçonnerie [voir études de cas 03, 04, 06] et ainsi diminue l'apport de lumière. La position de la nouvelle fenêtre est importante, elle peut minimiser la perte de lumière [voir étude de cas 06].

**L'aération<sup>23</sup>**: l'enveloppe rénoverée, plus étanche, apporte un meilleur confort en diminuant les infiltrations d'air frais et en augmentant les températures de surface. 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 hygro-réglable [voir fiches des études de cas] en façades. Il s'agit d'un aspect crucial d'une rénovation énergétique de l'enveloppe. 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.

**La modification de la surface utile<sup>24</sup>**: les mesures d'assainissement énergétique de l'enveloppe s'accompagnent parfois par une augmentation de la surface utile, avec des espaces supplémentaires dans les combles ou des espaces extérieurs plus grands [voir études de cas 06, 10]. Ils permettent parfois également d'optimiser la répartition des pièces aux besoins actuels. Mais une isolation intérieure peut aussi diminuer la surface utile des pièces du logement [voir étude de cas 08]. La perte de surfaces dans le logement peut s'avérer problématique tant du point de vue réglementaire (surfaces minimums) que de l'état locatif (réduction de sa valeur). Dans certains cas, la démolition du doublage intérieur avant la pose de l'isolation intérieure permet de limiter la perte de surface utile [voir étude de cas 07].

Fig. 62 Graphiques d'évaluation des co-bénéfices et co-pertes selon cinq critères pour les dix bâtiments des cas d'étude.

**Même si les « co-bénéfices » et les « co-pertes » ne peuvent être financièrement chiffrés, il serait faux d'en faire abstraction lors de l'évaluation d'une intervention sur l'enveloppe du bâtiment.**

- 22 Critères pour la lumière : aucune diminution des vides de lumière, augmentation de la profondeur des embrasures, diminution du vide de lumière, ajout d'éléments d'ombrage (balcons).
- 23 Critères pour l'aération : suppression /diminution des infiltrations d'air, amélioration des températures de surfaces, aucune amélioration.
- 24 Surface utile : augmentation de la surface intérieure ou extérieure, surface identique, diminution de la surface, diminution du nombre de pièces.
- 25 Critères pour le standard d'aménagement : salles de bain neuves, cuisines neuves, nouveaux revêtements de sol, nouveaux stores.
- 26 Critères pour le bruit : amélioration phonique envers les bruits extérieurs en bord de route ou en périphérie, amélioration phonique entre appartements.

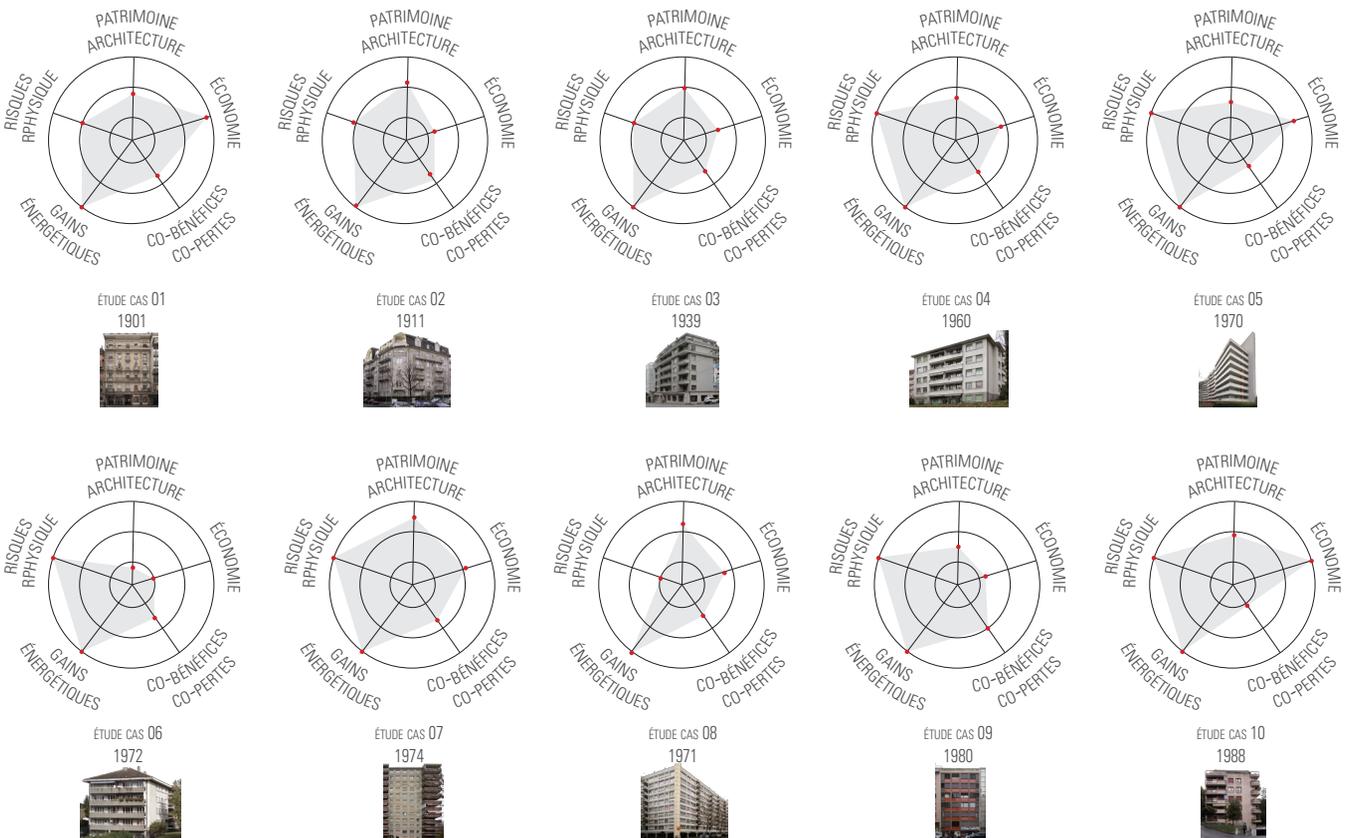
**Le standard de l'aménagement<sup>25</sup>** est amélioré par les co-bénéfices apportés par les travaux indirectement liés à l'assainissement de l'enveloppe. Lors d'une isolation intérieure, il est parfois nécessaire de modifier des cuisines [voir études de cas 07, 08], des espaces sanitaires [voir étude de cas 02] ou de rafraîchir des peintures. Il est parfois nécessaire de changer des stores [voir études de cas 04, 07, 08, 09], une étanchéité ou des revêtements de sol extérieur lors d'une intervention sur les façades extérieures. Une planification correcte d'un assainissement énergétique permet de réaliser simultanément des travaux habituellement attribués à l'entretien. Ses travaux permettent aussi une mise aux normes de sécurité de certaines parties de l'ouvrage comme les garde-corps [voir études de cas 03, 04], les portes des logements, etc.

**Le bruit<sup>26</sup>**: le remplacement des fenêtres, l'isolation des façades ou la fermeture d'espaces extérieurs [voir étude de cas 10] améliorent la protection contre les bruits aériens extérieurs. Cette amélioration de l'isolation phonique envers l'extérieur augmentera la perception des bruits d'équipements et les bruits aériens et d'impacts intérieurs. Une isolation thermique du plancher des combles, de la toiture ou du plancher sur un sous-sol peut parfois améliorer l'isolation phonique entre les logements et les espaces communs.

## UNE ALTERNATIVE À « L'EMBALLAGE »

Existe-t-il des alternatives plus respectueuses de la substance architecturale que l'emballage systématique en isolation périphérique pour atteindre les niveaux de consommation d'énergie prescrits par les normes? Ces alternatives sont-elles économiquement réalistes? Quelle approche méthodologique permet d'y parvenir?

Le projet eRen a permis de donner des réponses étayées à ces questions mises en évidence en introduction. Sur l'ensemble des dix modèles étudiés la solution de l'isolation périphérique protégée par un bardage en bois a été préconisée dans un cas, les autres proposent des solutions mixtes ou d'isolation par l'intérieur.



Pour chaque modèle au moins un scénario conforme à la norme 380/1 éd. 2009 en matière de consommation énergétique a pu être dégagé, qui préserve les caractéristiques architecturales de l'enveloppe du bâtiment dignes d'être conservées.

«Thermiquement l'isolation périphérique ça marche. Mais le projet eREN démontre qu'il n'y a pas que ça qui marche.»

Ce résultat a pu être atteint grâce à une collaboration intense entre les différents spécialistes qui implique un investissement que souvent les propriétaires hésitent à consentir, bien qu'il ne représente qu'une fraction relativement faible du coût total.

Les chiffrages ont démontré que le coût d'une rénovation énergétique d'une enveloppe de bâtiment est certes élevé mais que les solutions alternatives peuvent être concurrentielles par rapport à la solution habituelle de l'isolation périphérique systématique, tout en offrant des solutions parfois meilleures au niveau de la durabilité des matériaux et éléments de construction.

L'étude montre aussi que les coûts d'une rénovation énergétique demeurent très élevés en regard des gains que l'on peut espérer réaliser sur l'économie d'énergie, au tarif actuel de cette dernière.

Il est vrai que le volet énergétique de la rénovation est souvent inclus dans un projet visant à revaloriser un immeuble qui nécessite de toute façon des travaux pour des questions de salubrité, de vétusté ou pour la mise en valeur d'un potentiel inexploité. Il n'en demeure pas moins que dans de nombreux cas où le bâtiment a été entretenu et où les

Fig. 63 Graphiques d'évaluation du scénario de rénovation de l'enveloppe qui atteint la norme SIA 380/1 éd. 2009 pour les dix bâtiments selon cinq critères [voir l'évaluation du scénario 2 dans la fiche de l'étude de cas].

PATRIMOINE – ARCHITECTURE : [voir critères d'évaluation du graphique p.24].

GAINS ÉNERGETIQUES : valeur-limite de la norme SIA 380/1 éd. atteinte ou pas atteinte.

RISQUE PHYSIQUE : aucun risque, principes délicats (sans pare-vapeur), principes délicats nécessitant un soin particulier à la mise en œuvre (pare-vapeur), détails non résolus.

ÉCONOMIE : selon le coût/m<sup>2</sup> de SRE, sur une échelle de 500 CHF/m<sup>2</sup> à 1'400 CHF/m<sup>2</sup>.

CO-BÉNÉFICES – CO-PERTES : moyenne des co-bénéfices et co-pertes [voir critères d'évaluation du graphique p.41].

perspectives d’augmentation des loyers sont faibles, une rénovation énergétique a peu de chances d’être entreprise, faute d’incitation économique suffisante.

L’obligation d’atteindre les valeurs sévères prescrites par la norme SIA 380/1 éd. 2009 dans le cadre de la rénovation peut même avoir l’effet pervers de décourager le propriétaire d’entreprendre certains travaux qui amélioreraient notablement la situation à moindre coût sans pour autant atteindre les limites légales. Le durcissement des valeurs cibles pour la rénovation qui a commencé avec la révision de 2009 de la norme et qui va selon toute vraisemblance se poursuivre pourrait encore amplifier le décalage entre des intentions en soi louables et le taux de rénovation.

Finalement, inscrire dans la loi l’obligation d’assainir l’enveloppe des bâtiments à court ou moyen terme pourrait impliquer des coûts très élevés que de très nombreux propriétaires ne seraient pas à même d’assumer, faute de fonds de rénovation suffisant. Les collectivités publiques sont d’ailleurs confrontées au même défi. Force est aussi de constater que tant les mandataires que les entreprises spécialisées de qualité feraient défaut devant l’immensité de la tâche.

Ces conclusions peuvent sembler négatives. Elles ne le sont que si l’on s’arrête à ce constat en baissant les bras. Nous pensons que les pistes existent pour infléchir le cours des choses :

- La réglementation et également les labels qui ont été jusque-là axés principalement sur les constructions neuves doivent beaucoup mieux prendre en compte les spécificités de la rénovation du bâti existant et de ses limites.
- L’information, l’incitation et l’obligation doivent être menées de front intelligemment et avec une vision à long terme, à l’échelle de la durée de vie des bâtiments. L’implication des spécialistes des différents domaines et la prise en compte des particularités du système politique suisse sont de mise afin d’éviter les écueils.
- L’effort de formation dans le domaine auprès des professionnels, des entreprises, des apprentis et étudiants doit être renforcé pour que la rénovation énergétique bénéficie de professionnels qualifiés.

Le jeu en vaut la chandelle. Et quoi qu’il en soit, avons-nous le choix ?

## CHECK-LIST

Les bâtiments étudiés montrent les contraintes et les limites d'un assainissement énergétique qui tient compte de l'efficacité économique, des contraintes constructives réelles et de la protection de la substance architecturale des enveloppes touchées. La mise en œuvre d'une isolation thermique n'est pas toujours simple. Elle a souvent des conséquences sous-estimées, voire négligées sur des éléments adjacents. De nombreux détails constructifs nécessitent d'être étudiés et pris en compte. Par exemple, les cloisons de grenier, souvent présentes dans les combles, empêchent de poser simplement une isolation sur le plancher. De nombreuses conduites passent au plafond des sous-sols. Elles peuvent réduire l'épaisseur d'isolation qui peut être mise en place ou devoir être déplacées. Il est aussi judicieux de maintenir un accès aux installations. L'isolation extérieure des embrasures de fenêtre réduit le vide de l'ouverture et implique parfois le remplacement des fenêtres (cochonnet trop faible). Il est aussi nécessaire de remplacer les dispositifs d'occultation existants.



Toutes ces interventions, induites indirectement par une mesure d'isolation, doivent être anticipées. Elles représentent un coût souvent négligé lors d'une étude sommaire. La check-list, élaborée sur la base des études de cas, relève les éléments qui pourraient être concernés par la pose d'une isolation.

*Fig. 64 et 65 de gauche à droite. Les cloisons de greniers compliquent la pose d'une isolation sur la dalle des combles, tout comme les conduites sous celle du sous-sol.*

### ISOLATION DE LA TOITURE OU DU PLANCHER DES COMBLES

Il faut vérifier :

- la composition des couches et la capacité de diffusion de la vapeur (type de pare-vapeur, type de sous-toiture existante).
- la présence de cloisons de grenier.
- la présence de conduits de ventilation, de conduits de fumée, etc.
- la présence d'éléments décoratifs (moulures, stucs, etc.)
- la présence de lucarnes, coupoles, cheminées, sorties de ventilation primaire ou toute autre installation qui doivent être modifiées en cas d'isolation sur une toiture (ligne de vie, antennes, coupoles, etc.).
- la présence de cloisons dans les appartements lors de la mise en œuvre d'une isolation sous le plancher des combles (difficulté de raccorder le pare-vapeur).
- la présence des luminaires au plafond et prévoir leurs déplacements éventuels dans le cas d'une isolation sous le plancher des combles.
- le vide d'étage lors d'une isolation sous le plancher des combles.
- les difficultés de raccorder l'éventuel pare-vapeur aux chevrons et à la sablière.
- l'isolation de l'accès aux combles lors de l'isolation du plancher.
- la hauteur de la dernière marche d'escalier lors de l'isolation du plancher.
- l'ouverture de l'escalier escamotable et son isolation.
- la hauteur de l'acrotère lors d'une isolation sur la toiture.
- la pente d'évacuation des eaux de toiture (minimum 1.5%).
- l'isolation des superstructures en toiture (escalier d'accès, cage d'ascenseur)

## ISOLATION DES BALCONS OU DES TERRASSES D'ATTIQUES

Lors de l'isolation par-dessus ou sous la dalle des balcons et des attiques, il faut vérifier :

- la profondeur des loggias et balcons et leur possibilité d'usage lors de l'isolation extérieure des façades.
- à maintenir un vide d'étage suffisant.
- la hauteur du vide de maçonnerie de la porte-fenêtre lors de l'isolation du linteau ou le remplacement du seuil.
- la nécessité de modifier ou remplacer les protections solaires extérieures, par exemple les stores en toile.
- la hauteur des garde-corps (100 cm minimum ou 90 cm si largeur > 20 cm).
- la pente et l'évacuation des eaux de surface.
- l'isolation du seuil et la hauteur des remontées d'étanchéité.

## ISOLATION DES PLANCHERS SUR SOUS-SOL OU TERRAIN

Lors de l'isolation par-dessus ou sous le plancher contre les espaces non chauffés, il faut vérifier :

- le vide d'étage lors de l'isolation sous le plancher, particulièrement dans les escaliers pour éviter d'entraver l'accès au sous-sol.
- la présence de conduites au plafond des sous-sols.
- l'accès aux installations techniques.
- la présence de cloisons de caves.
- la présence des luminaires au plafond et prévoir leurs déplacements éventuels.
- l'isolation de l'accès.
- l'accès pour les personnes à mobilité réduite lors d'une isolation sur le plancher, souvent création d'une marche supplémentaire.
- la hauteur de la première marche d'escalier dans le cas d'une isolation sur dalle.
- la hauteur des contrecœurs de fenêtre lors d'une isolation sur le plancher.
- le seuil et la hauteur des portes lors d'une isolation sur le plancher.
- la nécessité d'isoler les cloisons entre les éventuelles parties chauffées et les éventuelles parties non chauffées du sous-sol.
- la possibilité de démontage de l'isolation lors de l'isolation d'abri de protection civile.

## ISOLATION DES FAÇADES

Lors du changement de fenêtres, il faut vérifier :

- la possibilité de remplacer un verre existant par un verre isolant.
- la valeur g du nouveau vitrage

Lors d'une isolation intérieure, il faut vérifier :

- les couches de construction existante (type de crépi), leur capacité de diffuser la vapeur et leur adéquation avec les solutions de rénovation proposées.
- l'impact sur les cuisines et les sanitaires situés contre les parois externes.
- la surface des pièces.
- la largeur des couloirs et des escaliers.
- le raccordement d'un éventuel pare-vapeur.
- l'isolation du caisson de store intérieur.
- la position des radiateurs et des prises et interrupteurs.
- à porter une attention particulière aux raccords autour des poutres en bois encastrees dans la façade.
- l'isolation autour du cadre de fenêtre et de l'embrasure.
- la ventilation suffisante des locaux.

Lors d'une isolation extérieure, il faut vérifier :

- dans le cas de bâtiments contigus, étudier les raccords aux bâtiments voisins.
- à respecter les distances aux limites.
- la dimension des cochonnets avec le maintien des fenêtres existantes.
- à assurer un vide de jour suffisant avec l'isolation des embrasures.
- la dispositif d'occultation lors de l'isolation des embrasures de fenêtre, modification du vide de maçonnerie.
- l'isolation du caisson de store intérieur.
- la position des ferrements des volets battants.
- à assurer la continuité de l'isolation aux raccords de l'avant-toit.
- la ventilation suffisante des locaux.

# LEXIQUE

**Surface de référence énergétique (SRE):** « *total de toutes les surfaces brutes de plancher calculées au sens de la recommandation SIA 180/4 des locaux chauffés ou climatisés situés au-dessous et au-dessus du niveau du terrain.* »<sup>27</sup>

**Surface d'enveloppe développée:** surface d'enveloppe A<sup>28</sup> définie dans la norme SIA 380/1 éd. 2009 mais sans facteur de pondération. Elle comprend les « *éléments d'enveloppe constituant la limite du système prise en compte pour les transferts thermiques dans le calcul des besoins de chaleur pour le chauffage* ».

**Consommation moyenne d'énergie (énergie finale):** moyenne des relevés de consommation d'énergie sur trois ou quatre ans selon les bâtiments entre 2009 et 2013.

**Indice de dépense de chaleur (IDC):** consommation d'énergie pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire rapportée à la SRE et pondérée en fonction des conditions météo.

**Besoins de chauffage « relevé »:** énergie finale relevée (consommation moyenne d'énergie) moins les pertes de chaleur du système de chauffage (admis à 20 %), moins les besoins de chaleur pour l'eau chaude sanitaire Q<sub>ww</sub> (calculés selon la norme SIA 380/1 éd. 2009), par unité de surface de référence énergétique et par année.

**Besoins de chauffage « calculé » (Q<sub>h</sub>):** « *quantité de chaleur à fournir à l'espace chauffé pour maintenir la température intérieure de consigne, par unité de surface de référence énergétique et par année.* »<sup>29</sup>

**Coût de l'ouvrage:** il se répartit selon les éléments d'intervention. Les honoraires des mandataires (admis 20 %) ont été répartis au prorata du montant total de chaque élément. Il en va de même pour les frais secondaires (5 %) et une provision (5 %). Les frais généraux comprennent le relevé, les installations et les échafaudages, les peintures nécessaires aux travaux d'assainissement énergétique, les protections et les nettoyages.

**Coût / m<sup>2</sup> d'éléments:**

- façades: il s'agit des coûts de tous les éléments de façades (démolition d'éléments de parois, isolation de parois, caissons de store, stores, balcons, éléments sanitaires ou cuisines devant être modifiés, etc.) rapportés à la surface développée des façades. Les surfaces des façades enterrées intégrées au volume chauffé ont été comptabilisées.
- toiture: il s'agit des coûts de tous les éléments de toiture (isolation, démolition d'éléments existants, de cloisons, couverture, ferblanterie, isolation d'éléments de superstructure) rapportés à la surface de toiture ou de dalles des combles.
- plancher: il s'agit des coûts de tous les éléments de plancher (isolation, déplacement de conduites, démolition de cloisons, reconstruction de cloisons, modifications nécessaires de l'aménagement intérieur)

**Umes:** valeur U de l'élément mesurée in-situ selon la norme ISO 9869 (1994 et 2014).

**Ucal existant:** valeur U théorique de l'élément calculée selon la composition des couches obtenues selon des plans ou des sondages.

**Ucal rénové:** valeur U théorique de l'élément calculée selon les solutions de rénovation.

**Facteur de température superficielle minimal (fR<sub>si</sub>):** facteur de température superficielle minimal au-dessus duquel le risque de condensation est exclu pour autant que la moyenne journalière de l'humidité relative intérieure ne dépasse pas une limite donnée.

**Pont thermique:** « *points faibles de l'enveloppe, par lesquels s'écoule localement plus de chaleur que par les éléments adjacents* »<sup>30</sup>. La perte de chaleur provoquée par ce pont thermique est exprimée par le coefficient de transmission thermique linéique (psi) en W/mK.

**Fenêtre simple:** la fenêtre est dite « simple » lorsqu'elle est composée d'un seul cadre avec un verre simple.

27 Norme SIA 380/1 éd. 2009, *L'énergie thermique dans le bâtiment.*

28 Norme SIA 380/1 éd. 2009, *L'énergie thermique dans le bâtiment.*

29 Norme SIA 380/1 éd. 2009, *L'énergie thermique dans le bâtiment.*

30 INFOMIND SARL, *Catalogue des ponts thermiques*, Office fédéral de l'énergie OFEN, Berne, 2003.

- 31 ORTELLI Luca, ZURBRÜGG Pierre, WALL CAGO Catarina, ROCHE Georgine, *ReHAB – Rénovation et réhabilitation des bâtiments d'habitation du XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècle – Assainissement de fenêtres dans les immeubles d'habitation 1850–1920*, Laboratoire de construction et conservation (EPFL), 2012, 41.
- 32 ORTELLI [voir note 31], 49.
- 33 ORTELLI [voir note 31], 45.
- 34 GLAS TRÖSCH SA, *Le verre et ses applications*, Glas Trösch SA, Bützberg, 2002.
- 35 OFFICE FÉDÉRAL DE L'ÉNERGIE, *Fiche technique fenêtres*, Office fédéral des constructions et de la logistique, 2009.
- 36 GLAS TRÖSCH SA, [voir note 34].
- 37 OFFICE FÉDÉRAL DE LA STATISTIQUE, *Registre fédéral des bâtiments et des logements - Catalogue des caractères*, Département fédéral de l'intérieur, Neuchâtel, 2012.
- 38 OFFICE FÉDÉRAL DE LA STATISTIQUE, [voir note 38].

**Fenêtre avec contre-fenêtre** : « pour doubler la fenêtre, une première solution facile à mettre en œuvre consiste à la compléter par une deuxième fenêtre, dite contre-fenêtre, placée à l'extérieur, dans l'embrasure de l'encadrement. Le cadre de cette dernière est, la plupart du temps, amovible, ce qui offre la possibilité de démonter toute la fenêtre pendant les mois d'été. »<sup>31</sup>

**Fenêtre à caisson** : « la fenêtre à caisson ou fenêtre emboîtée est un deuxième type de double fenêtre qui, par l'ajout d'une embrasure en bois sur la face intérieure de la fenêtre, permet d'installer une deuxième fenêtre, reliée de manière fixe avec la première, pour former un seul élément. Ce type de fenêtres a surtout été utilisé en Allemagne, en Autriche et en Suisse alémanique. En Suisse romande, les fenêtres à caisson sont moins répandues, mais on trouve néanmoins encore quelques exemples originaux en bon état de conservation. »<sup>32</sup>

**Fenêtre couplée** : « une variante de double fenêtre dans laquelle les vantaux des deux fenêtres sont liés par un système de crochet afin que leur ouverture se fasse simultanément. »<sup>33</sup>

**Fenêtre avec double verre** : fenêtre avec un seul cadre comprenant deux verres simples légèrement espacés.

**Fenêtre avec verre isolant double** : fenêtre avec un cadre et un verre isolant double. « Un verre isolant est une unité de vitrage fabriquée avec deux plaques de verre ou plus, qui sont séparées les unes des autres par un intercalaire sur tout le périmètre. L'espace intercalaire est rendu étanche au gaz vis-à-vis de l'extérieur à l'aide de différents matériaux d'étanchéité et sert de liaison durable entre les plaques de verre. Le double joint sur tout le périmètre évite l'entrée de poussière et de condensation (assemblage périphérique). »<sup>34</sup>

**Fenêtre avec verre isolant triple** : fenêtre avec un cadre et un verre isolant triple [voir définition verre isolant double].

**Coefficient de transmission thermique du cadre (Uf)** : il est l'équivalent de la valeur U pour les cadres de fenêtres. « Le coefficient moyen de transmission thermique d'un cadre de fenêtre est désigné par l'abréviation Uf. Sa valeur dépend du matériau qui le compose et de la conception du profil. Pour déterminer la valeur Uf moyenne du cadre, se reporter à la norme SIA 331, annexe B. »<sup>35</sup>

**Coefficient de transmission thermique du verre (Ug)** : il est l'équivalent de la valeur U pour les vitrages isolants (norme EN 673). « Il convient de noter que la valeur Ug ne s'applique qu'à la zone dite « non perturbée », c'est-à-dire hors influence de la zone de bord (dans laquelle le flux thermique est significativement plus élevé) »<sup>36</sup>.

**Facteur solaire (g)** : il exprime la proportion d'énergie solaire qui traverse un vitrage (en % ou de 0 à 1). Plus le facteur g est élevé, plus les apports solaires passifs seront importants (donnée par le fabricant selon EN 410).

**Maisons à plusieurs logements** : « Les maisons à plusieurs logements se composent exclusivement de logements (bâtiments exclusivement à usage d'habitation, pas d'usage annexe). Une maison à plusieurs logements compte deux logements ou plus. »<sup>37</sup>

**Bâtiments d'habitation avec usage annexe** « Des bâtiments d'habitation comprenant des logements et par exemple un commerce, un atelier ou une banque au rez-de-chaussée. Des bâtiments d'habitation comprenant des logements et des cabinets médicaux ou des bureaux. »<sup>38</sup>

# BIBLIOGRAPHIE

- ACHILLES Andreas, NAVRATIL Diane, *Construire en verre*, Birkhäuser, Bâle, 2009.
- AHNERT R., KRAUSE K.H., *Typische Baukonstruktionen von 1860 bis 1960 Brand I*, Verlag für Bauwesen, Berlin, 2000.
- AHNERT R., KRAUSE K.H., *Typische Baukonstruktionen von 1860 bis 1960 Brand II*, Verlag für Bauwesen, Berlin, 2001.
- AHNERT R., KRAUSE K.H., *Typische Baukonstruktionen von 1860 bis 1960 Brand III*, Verlag für Bauwesen, Berlin, 2002.
- ASSOCIATION SUISSE DES FABRICANTS DE BRIQUES ET TUILES, « La maçonnerie », *Element*, Association suisse des fabricants de briques et de tuiles, Faktor Verlag, Zürich, 3 (1960).
- ASSOCIATION SUISSE DES FABRICANTS DE BRIQUES ET TUILES, « Murs et ouvertures », *Element*, Association suisse des fabricants de briques et de tuiles, Faktor Verlag, Zürich, 5 (1962).
- ASSOCIATION SUISSE DES PROFESSIONNELS DU BÉTON PRÉFABRIQUÉ, *La façade préfabriquée en béton*, Association Suisse des Professionnels du Béton Préfabriqué, Pfäffikon, 1985.
- BERNSTEIN, Daniel, CHAMPETIER, Jean-Pierre, VIDAL, Thierry, *Anatomie de l'enveloppe des bâtiments*, Le Moniteur, Paris, 1997.
- BINZ Armin, ERB Markus, LEHMANN Gerold, *Ökologische Nachhaltigkeit im Wohnungsbau*, Office fédéral de l'énergie, 2000.
- BUSSET, Thomas, GARNIER, Alain, JOYE, Dominique, SCHULER, Martin, *Une typologie exploratoire des bâtiments*, Institut de recherche sur l'environnement construit (école polytechnique de Lausanne), 1990.
- BUSSET Thomas, ROULET Barbara, SCHULER Martin, *La constitution du parc immobilier suisse - approche typologique de l'habitat*, institut de recherche sur l'environnement construit (école polytechnique de Lausanne), 1994.
- CLEMENS Richarz, SCHULZ Christina, ZEITLER Friedemann, «Energetische Sanierung», *Détail*, Institut für internationale Architektur-Dokumentation GMBH, München, 2006.
- DÉPARTEMENT DES CONSTRUCTIONS ET DES TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION DU CANTON DE GENÈVE, *Logements économiques à Genève construits entre 1920–1960*, DAEL, Genève, 2007.
- DÉPARTEMENT FÉDÉRAL DE L'INTÉRIEUR, *Registre fédéral des bâtiments et des logements : catalogue des caractères*, office fédéral de la statistique, Neuchâtel 2012.
- GAUTHIER Franck, «Poutres encastrées et isolation par l'intérieur», *Qualité construction*, N° 142 (2014).
- GIEBLER Georg, FISCH Rainer, KRAUSE Harald, MUSSO Florian, PETZINKA Karl-Heinz, RUDOLPHI Alexander, *Rénover le bâti*, Les Presses polytechniques et universitaires romandes, 2012.
- GLAS TRÖSCH SA, *Le verre et ses applications*, Glas Trösch SA, Bützberg, 2002.
- HINDEN Reto, *De la construction en brique massive - Le cas du logement urbain*, EPFL, ENAC, 2007.
- INFOMIND SÀRL, *Catalogue des ponts thermiques*, Office fédéral de l'énergie, Berne, 2003.
- KHOURY Jad, *Rénovation énergétique des bâtiments résidentiels collectifs : état des lieux, retours d'expérience et potentiels du parc genevois*, In : Soutenance de thèse de doctorat, Genève, 2014.

MARCHAND Bruno, SAVOYAT Marielle, CHENU Laurent, *Architecture du canton de Vaud 1920–1975*, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 2012.

MARTI Kurt, *Catalogue d'éléments de construction avec calcul de la valeur U: assainissement*, Office fédéral de l'énergie, 2002.

ORTELLI Luca, ZURBRÜGG Pierre, WALL GAGO Catarina, ROCH Georgine, *ReHAB: Rénovation et réhabilitation des bâtiments d'habitation du XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles*, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 2012.

OFFICE FÉDÉRAL DE L'ÉNERGIE, *Fiche technique fenêtres*, Office fédéral des constructions et de la logistique, 2009.

PROGRAMME D'ACCOMPAGNEMENT DES PROFESSIONNELS, « Evaluation des risques de pathologies liées à l'humidité », *Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012*, AQC, 2013.

RICHTLINIE ENERGIEEFFIZIENZ AM BAUDENKMAL, *The 3Encult Project*, Bundesdenkmalamt, Austria, 2011.

SCHEFFLER Gregor A., « Diffusionsoffene Innendämmung macht Schule », *Forschung & Innovation*, Bauplaner, 12 (2010), 2–6.

SCHWEHR Peter, FISCHER Robert, *Building Typology and Morphology of Swiss Multi-Family Homes*, Hochschule Luzern, January 2010.

SIGRIST Donald, KESSLER Stefan, *Effets des lois cantonales sur l'énergie: analyse de l'efficacité conformément à l'art. 20 LEne, actualisation pour l'année 2012*, Office fédéral de l'énergie, Ittigen, juillet 2013.

SOCIÉTÉ DE COMMUNICATION DE L'HABITAT SOCIAL, *Habitation: revue trimestrielle romande de l'Association Suisse pour l'habitat*, Société de communication de l'habitat social, 1 (1928) à 63 (1990).

SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES, *L'énergie thermique dans le bâtiment – Guide d'utilisation de la norme SIA 380/1*, Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zürich, 2002.

SUISSE ÉNERGIE, *Mieux isoler les sous-sol*, Services de l'énergie des cantons de Suisse et de la principauté du Liechtenstein, Energie Suisse, Office fédéral de l'énergie, 2002.

# ABSTRACT

## METHODEN UND WERKZEUGE FÜR DIE ENERGETISCHE SANIERUNG DER GEBÄUDEHÜLLE

Die energetische Sanierung des Wohnungsbestands ist ein wesentliches Ziel der Energiestrategie 2050 des Bundes. Trotz der politischen Absichten, bleibt die Zahl der energetischen Sanierungen relativ gering und daran scheint sich auch in Zukunft nichts zu ändern. Wesentliche Hindernisse sind die Baukosten, der niedrige Energiepreis, technische Schwierigkeiten, denkmalpflegerische Aspekte, die Verfügbarkeit qualifizierter Fachleute oder die aktuelle Wohnungsnot.

Einzelsanierungsmassnahmen ohne ein Gesamtkonzept sind die Regel. Realisierte Gesamtsanierungen beschränken sich oft auf die Erneuerung der Haustechnik, den Austausch der Fenster und ein Wärmedämmverbundsystem. Diese energetisch vielleicht sinnvollen Massnahmen sind oft fraglich in baukonstruktiver, denkmalpflegerischer, bauphysikalischer und nachhaltiger Hinsicht. Die typologische Vielfalt im Gebäudebestand verlangt Lösungen, die die architektonischen und konstruktiven Eigenarten des Gebäudes berücksichtigen.

eRen basiert auf einem globalen und interdisziplinären Ansatz für die energetische Sanierung der Gebäudehülle und sucht ein Gleichgewicht zwischen Energieeffizienz, konstruktiven und bauphysikalischen Aspekten, Wirtschaftlichkeit, Nutzen und Verlusten und baukulturellem Wert.

Mit Fallstudien typischer Mehrfamilienhäuser der Westschweiz werden die Möglichkeiten und Grenzen einer energetischen Sanierung der Gebäudehülle aufgezeigt und ein Hilfsmittel für zukünftige Gebäudesanierungen zur Verfügung gestellt. Die Studie richtet sich an Eigentümer und Gebäudeverwalter, Baufachleute und die betroffenen Behörden.

Baukonstruktive Merkmale von Mehrfamilienhäusern der Westschweiz zwischen 1900 und 1990 wurden erfasst und fünf charakteristische Bauepochen definiert: Vorkriegszeit (1900–1920), Zwischen-den-Weltkriegen (1921–1945), Nachkriegszeit (1946–1960), Hochkonjunktur (1961–1975) und nach der Ölkrise (1975–1990); Zeitraum, indem das Bewusstsein um die Endlichkeit der Energieressourcen geweckt und erste Empfehlungen und gesetzliche Regelungen zur Energieeinsparung formuliert wurden.

Jede dieser Bauepochen verfügt über charakteristische architektonische und konstruktive Merkmale. Fünfzehn Typologien (Modelle), repräsentativ für den Westschweizer Wohnungsbau des 20. Jahrhunderts, wurden definiert. Jede Typologie ist unterschiedlich und verdient einen respektvollen Umgang mit dem Bestand. Jeder Eingriff in den Gebäudebestand (selbst banal) muss auch unter baukulturellen Aspekten betrachtet werden. Jedes noch so gewöhnliche Gebäude trägt seinen Teil zur Identität und Stadtgeschichte bei und nicht ausreichend durchdachte Lösungen können Ursache vieler Probleme sein.

Zehn repräsentative Gebäude der häufigsten Typologien wurden für eine Fallstudie ausgewählt und eine umfassende Bestandsanalyse und eine globale Sanierungsstrategie für jeden Fall entwickelt:

- Wesensmerkmale wahren
- Wesensmerkmale rekonstruieren
- Neue Elemente oder ein neues Erscheinungsbild

Um der gewählten Strategie zu folgen und gleichzeitig den energetischen Zielsetzungen der SIA-Norm 380/1 (2009) zu genügen, wurden mehrere Szenarien pro Fall untersucht. Jedes Szenario wurde in thermischer und hygrometrischer Hinsicht geprüft. Durch ein kontinuierliches Wechselspiel zwischen Architekten und Bauphysikern konnte für jedes der 10 Fallbeispiele eine den definierten Kriterien entsprechende Lösung aufgezeigt werden (siehe oben). Die Baukosten wurden für jedes Szenario berechnet um auch die wirtschaftlichen Aspekte miteinzubeziehen.

In allen Fallstudien konnten die normativen Anforderungen erfüllt und der architektonische Charakter, soweit erforderlich, gewahrt werden; bei mit herkömmlichen Lösungen vergleichbaren Baukosten. Ein respektvoller Umgang mit dem Gebäudebestand und eine energetische Gebäudesanierung im Kostenrahmen sind also kein Ding der Unmöglichkeit. Dieses Ergebnis konnte nur dank einer intensiven Zusammenarbeit verschiedener Fachleute erreicht werden und einem Planungsaufwand, in den Gebäudeeigentümer oft nicht investieren; obwohl dieser nur einen relativ geringen Teil der Gesamtbaukosten ausmacht.

Die Studie zeigt allerdings auch, dass die Kosten einer energetischen Sanierung der Ge-

bäudehülle im Vergleich zu den zu erwartenden Einsparungen durch den gesenkten Energieverbrauch bei den aktuellen Energiekosten sehr hoch sind.

Auch wenn die energetische Sanierung häufig Teil einer Gesamtaufwertung des Gebäudes ist (aufgrund von Bauschäden, Überalterung, Aufwertung ungenutzter Potenziale), fehlen in vielen Fällen, in denen ein Gebäude regelmäßig unterhalten wurde oder die Möglichkeiten einer Mieterhöhung beschränkt sind, ökonomische Anreize für eine energetische Sanierung.

Die Verpflichtung die strengen Auflagen der SIA-Norm 380/1 (2009) bei einer Gebäudesanierung einzuhalten, kann sogar den gegensätzlichen Effekt haben und Eigentümer entmutigen energetische Maßnahmen zu ergreifen, die bei geringen Kosten die Situation verbessern ohne den gesetzlichen Anforderungen gerecht zu werden.

Die Verschärfung der Zielwerte für die Gebäudesanierung, die mit der Revision der Norm in 2009 begonnen hat und wie es aussieht weiterverfolgt wird, könnte die Diskrepanz zwischen lobenswerten Absichten und realer Sanierungsrate noch verstärken.

Eine gesetzliche Regelung, die die energetische Sanierung der Gebäudehülle kurz- oder längerfristig verpflichtend vorschreibt, würde sehr hohe Kosten bedeuten, die sehr viele Eigentümer aufgrund unzureichender Sanierungsfonds nicht aufbringen können. Diese Herausforderung betrifft im übrigen auch öffentliche Bauherren. Man kommt nicht umhin festzustellen, dass es bei einer derart großen Aufgabe selbst an Auftragnehmern und qualifizierten Fachfirmen mangeln wird.

Diese Schlussfolgerungen scheinen sehr negativ. Allerdings nur, wenn man tatenlos zusieht. Wir sind überzeugt, dass durchaus Möglichkeiten bestehen um dem Ziel ein Stück näher zu kommen:

- Die Gesetzgebung und Gebäudelabels, die bisher im Wesentlichen auf Neubauten ausgerichtet waren, müssen verstärkt die Besonderheiten der Sanierung des Gebäudebestands und seiner Grenzen berücksichtigen. (Die im Projekt eRen erarbeiteten Hilfsmittel sind hier ein erster Schritt).
- Informationen, Anreize und Auflagen müssen auf einer langfristigen Sichtweise basieren, um der Lebensdauer der Gebäude gerecht zu werden. Der Einbezug von Spezialisten verschiedener Fachbereiche und die Berücksichtigung der Besonderheiten des schweizerischen politischen Systems sind notwendig um Fehlschläge zu vermeiden.
- Aus- und Weiterbildungsmöglichkeiten für Fachleute, Unternehmen, Lehrlinge und Studenten in diesem Bereich müssen verstärkt werden, um in Zukunft über ausreichend qualifizierte Fachleute für anspruchsvolle Sanierungen zu verfügen.

Der Einsatz lohnt sich. Und wie dem auch sein, haben wir eine Wahl?

## METHODS AND TOOLS FOR ENERGY-EFFICIENT RETROFITTING OF BUILDING ENVELOPE

The energy refurbishment of housing is a key issue of the Swiss government's « 2050 Energetic strategy ». However, despite the pressure imposed by politicians, the energy refurbishment rate remains low today and does not seem to improve. High labour costs, low energy prices, technical complexities, heritage issues, lack of qualified professionals and contractors together with the current housing shortage can be identified as the main reasons for this problem.

Partial interventions without a global overview are usually carried out and when a project is aiming at an overall refurbishment, it is often limited to the replacement of the M&E equipment, to the windows and to a perimeter insulation of the walls. Maybe these solutions provide answers on the energy issue, but as far as the architecture, heritage preservation, construction and the buildings' physical appearance goes, they tend to lack pertinence. The diversity of existing building typologies requires specific solutions that take into account their architectural and constructive characteristics.

eREN is focusing on the envelope of existing housing in Western Switzerland and is based on a global and interdisciplinary approach aiming at achieving well-balanced solutions between energy efficiency, constructive feasibility, building physics, cost and preservation of the architectural heritage.

The eREN project proposes tools and a framework available to all stakeholders to help them developing refurbishment projects efficiently, taking into account all the above aspects. It is intended for owners, real estate agents, professional teams, contractors and public services in charge of the related issues.

Housing production between 1900 and 1990 has been divided in five different periods: pre World War I period (1900 – 1920), Interwar period (1921 – 1945), post World War II period (1946 – 1960), the boom period (1961 – 1975) and post oil shock period (1975 – 1990), marked by the growing awareness of the energy consumption issue and the first energy standards in the construction industry.

Each of these periods has its own architectural and construction specifications. Fifteen models have been retained covering the different ways of building collective housing during these periods. All of them deserve respect, because applying changes to an existing building (even an ordinary one) implies cultural and heritage issues. The ordinary housing stock plays its part in forming the city's identity and insufficiently developed solutions can be the root of numerous problems.

Ten multi-dwelling buildings characteristic of the most common constructive typologies have been selected and used as case studies. Their current state has been analysed and in a second stage, a general strategy has been decided for each of them:

- Maintaining the envelope typical features
- Rebuilding the envelope typical features
- Adding new features or changing the image of the envelope

Refurbishment scenarios have been developed for the ten study cases responding to the chosen strategy and checked against the legal requirement based on the Swiss energy standard SIA 380/1 (2009).

The scenarios have been through an iterative process by the team's architects and engineers which eventually resulted in solutions satisfying both the energy requirements and the other criteria set above: architectural identity, construction feasibility, building physics and cost.

In every case a scenario could be elaborated that complies with the legal requirements of SIA 380/1 (2009) at a cost comparable to more standard solutions, like rendered perimeter insulation. Energetic refurbishment that respects the architecture of the building envelope is possible and at reasonable cost. This result was obtained thanks to an intense collaboration between the various specialists working on the project, which implies an investment that many owners do not want to consider, although it only amounts to a low fraction of the total cost.

Not surprisingly, the project also demonstrates that the price one pays for an energetic refurbishment is high, against those savings that one could expect on their energy bill, going by today's rates.

It's true that the energy refurbishments are often included in wider projects directed at upgrading a building that requires work anyway, to solve hygiene or obsolescence issues, or that increases opportunities to gain surfaces to rent. Nevertheless, in many other cases where the building has been well maintained and the perspective of reviewing the rents are distant for various reasons, an energy refurbishment is not on the agenda due

to a lack of economic incentive to undertake such projects.

Worse still, the requirement to achieve the SIA 380/1 (2009) standard strict values in the field of refurbishment, could have a perverse outcome, discourage or even prevent owners from undertaking projects that could enable them to achieve a high percentage of the targeted energy savings and at a reasonable cost, for fear that their work may not meet 100% of the stated legal requirements. Since the last revision of the standards in 2009, it appears that the requirements will get harder and harder to achieve which could further broaden the gap.

Finally, making energy refurbishment compulsory in the short to medium term, would imply a financial burden that many owners could not afford. The public authorities face the same challenge. On top of that, the professionals and the specialised contractors available on the market to date, would be totally overwhelmed by the magnitude of the task.

At first sight, these conclusions look like a bleak prospect. They are, if we give up and make no effort to take a step further. Solutions do exist to change the direction of things:

- Regulation and private energy standards have been primarily focused on new constructions. They must consider existing buildings as a real field in its own with its specific rules and limits (the tools developed within eREN are a first step in this direction).
- Information, incentives, legal obligations have to be coordinated in the long term, at the scale of a building's life expectancy which is counted in decades, employing specialists from different fields and taking into account the Swiss political system's specificities will also help avoiding many pitfalls.
- An effort is to be made in training the professionals, contractors, students and apprentices, in order to put on the market qualified people, able to take the challenge of the energy refurbishment.

The challenge is worth it, and anyway do we have the choice?

## REMERCIEMENTS À :

Nous remercions les propriétaires et les gérants ci-dessous pour nous avoir mis à disposition les bâtiments ayant servi de cas d'étude.

Fondations Immobilières de Droit Public, CH-1205 Genève.

Gérances foncières SA, CH-1705 Fribourg.

Fondation de placement immobilier Lithos, CH-1211 Genève.

Retraites populaires, CH-1001 Lausanne.

# Hes·SO

Haute Ecole Spécialisée  
de Suisse occidentale  
Fachhochschule Westschweiz

L'assainissement énergétique des immeubles d'habitation est un enjeu majeur de la stratégie énergétique 2050 de la Confédération suisse. Malgré la volonté politique, le taux de rénovation énergétique reste relativement limité et le rythme ne semble pas s'accélérer. Parmi les obstacles le coût des travaux, le faible prix de l'énergie, les difficultés techniques, les questions patrimoniales, la disponibilité spécialistes qualifiés, ou la pénurie de logements.

Les interventions ponctuelles sans vision d'ensemble sont la norme. Lorsqu'un projet complet est mené à bien, il se résume souvent à une mise à jour des installations techniques, un remplacement des fenêtres et une isolation périphérique. Ces solutions peut-être valables sur le plan énergétique posent souvent des questions constructives, patrimoniales, de physique du bâtiment ou encore de durabilité.

eREN a mené un travail sur l'enveloppe des bâtiments basé sur une approche globale et interdisciplinaire cherchant le meilleur équilibre entre efficacité énergétique, aspects constructifs et de physique du bâtiment, économie, co-bénéfices et co-pertes et valeur patrimoniale.



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

**heig-vd**

Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion  
du Canton de Vaud

**Hes·SO** VALAIS  
WALLIS

Haute Ecole d'Ingénierie  
Hochschule für Ingenieurwissenschaften



**energieschweiz**  
Unser Engagement: unsere Zukunft.