



ÉTUDE COMPLÉMENTAIRE  
ISOLATION PÉRIPHÉRIQUE

APPROCHE GLOBALE POUR L'ENVELOPPE DU BÂTIMENT  
**RÉNOVATION ÉNERGÉTIQUE**

## **IMPRESSUM**

### ÉDITEUR

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

Institut 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

### ÉQUIPE DE PROJET

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

### IMPRESSION

Exemplaires imprimés en octobre 2017.  
Cette publication est composée d'une brochure et 6 fiches d'études de cas.

# TABLE DES MATIÈRES

Impressum	02
Table des matières	03
Abstract	05
01 Contexte de l'étude	06
02 Architecture et patrimoine	07
03 Construction et physique	10
04 Bilans thermiques	14
05 Coûts	15
06 Co-bénéfices et co-pertes	17
07 Conclusion et pistes de réflexion	19

## Annexes:

Méthodologie	22
Crédit photographique	23

## Les 6 études de cas – fiches synthétiques

- étude de cas 02 – 1911
- étude de cas 03 – 1939
- étude de cas 05 – 1970
- étude de cas 07 – 1975
- étude de cas 08 – 1971
- étude de cas 10 – 1988



# ABSTRACT

La solution consistant à recouvrir les bâtiments d'une couche d'isolation périphérique généralement crépie (emballage) pour en améliorer la performance énergétique est vue aujourd'hui par la plupart des spécialistes en énergie comme la solution la plus adéquate, tant sur le plan de la consommation d'énergie que du coût des travaux.

L'étude eREN, conduite par des architectes tout aussi soucieux du tournant énergétique que de la préservation du patrimoine bâti et de l'image de nos villes a démontré que des alternatives fines à l'emballage (solutions eREN), élaborées «sur mesure» et sur le mode interdisciplinaire, peuvent passer l'épreuve de la norme SIA 380/1 (éd. 2009).

Mais comment ces solutions se comportent-elles face à l'option de l'emballage périphérique sur les critères économiques, énergétiques, patrimoniaux, constructifs et d'usage?

Six bâtiments, cas d'étude réels issus de l'étude eREN situés dans les cantons de Fribourg, Genève et Vaud, ont fait l'objet d'un projet (scénario) détaillé d'isolation périphérique (voir fiches). Ces scénarios ont été élaborés pour coller au plus près de la réalité du « marché » de la rénovation, avec comme objectif une optimisation entre nécessité d'atteindre les seuils fixés par la norme SIA 380/1, éd. 2009 ( $Q_h$  limite) et de contenir les coûts.

La comparaison multicritères entre les deux scénarios sur les six cas d'étude peut être résumée comme suit:

	Scénarios eREN «sur mesure»	Scénarios eREN-P «périphérique»
Architecture et patrimoine	+ préservation de l'identité du bâtiment, maintien des caractéristiques de l'époque de construction dignes d'être conservées.	- dans la majorité des cas: perte de caractère du bâtiment. - banalisation et uniformisation de l'image de la ville.
Bilans thermiques	+ division par 3 de la consommation d'énergie en moyenne sur les cas étudiés. + atteinte des valeurs prescrites par la norme SIA 380/1 (éd. 2009).	+ division par 3.5 de la consommation d'énergie en moyenne sur les cas étudiés. + atteinte des valeurs prescrites par la norme SIA 380/1 (éd. 2009).
Construction et physique	+ remplacement des éléments vétustes. - risques liés aux ponts thermiques. - risques de condensation interstitielle en cas d'isolation intérieure.	+ remplacement des éléments vétustes. - risques liés aux ponts thermiques. - moindre durabilité des matériaux mis en œuvre par rapport à l'existant. + protection de la structure contre les chocs thermiques.
Coûts	= coûts entre les solutions globalement identiques.	= coûts entre les solutions globalement identiques.
Co-bénéfices et co-pertes	+ gain de confort. - perte de surface habitable (relative) et intrusion durant le chantier en cas d'isolation intérieure.	+ gain de confort. + intrusions limitées lors des travaux (en principe). - perte de surface sur les balcons, loggias, trottoirs, etc. - diminution des vides de lumière et des angles de vue des fenêtres.

Fig. 01 Tableau récapitulatif des avantages et inconvénients des scénarios eREN et eREN-P. Les +, =, - sont à considérer par rapport à la situation existante du bâtiment, avant intervention, sauf pour les coûts, où la comparaison est relative entre les deux scénarios.

L'étude a démontré, sur la base des six cas analysés, que l'a priori positif dont bénéficie l'emballage périphérique chez bon nombre de professionnels de l'énergie et de la construction n'a pas lieu d'être. Les deux scénarios comparatifs étudiés atteignent grosso modo les mêmes économies d'énergie pour un coût comparable. Constructivement et en matière de physique du bâtiment, les deux solutions présentent de sérieux défis et des gains comme des pertes en valeur d'usage. La solution d'emballage périphérique a par contre un impact beaucoup plus marqué sur la substance architecturale et la transformation de l'image de notre environnement urbain.

## CONTEXTE DE L'ÉTUDE

L'étude eREN - rénovation énergétique de l'enveloppe, une approche globale<sup>1</sup> a démontré qu'il était possible d'atteindre les valeurs énergétiques prescrites par la norme SIA 380/1 (éd. 2009) en appliquant une approche sur mesure, respectueuse de la substance architecturale du bâtiment.

Appliquer des stratégies de compensation, maintenir ou reconstruire les éléments caractéristiques ou lorsque cela s'avérait inutile changer l'image du bâtiment ont guidé le travail d'une équipe pluridisciplinaire sur dix cas d'étude, représentatifs de la production de logements collectifs en Suisse romande entre 1900 et 1990. Les bilans thermiques et les coûts de chaque scénario ont été calculés.

Le périmètre de l'étude eREN n'incluait pas de comparaison entre les scénarios sur mesure et la solution plus standard généralement appliquée, à savoir l'emballage du bâtiment dans une couche d'isolation périphérique. Par isolation périphérique on entend, dans la présente étude, l'application sur la structure d'une couche d'isolant (EPS ou laine minérale) recouverte d'un crépi.

Cette solution d'emballage bénéficie aujourd'hui auprès de nombreux acteurs du domaine de la rénovation énergétique d'un a priori positif tant au niveau de la réduction de la consommation d'énergie que du coût.

Afin de compléter l'étude eREN et de disposer d'éléments objectifs permettant de confirmer ou de contrer cet a priori, la CRDE (Conférence romande des délégués à l'énergie) a commandé une étude complémentaire, visant à élaborer pour certains bâtiments de l'échantillon eREN un scénario «périphérique» détaillé, à en calculer le bilan thermique et les coûts et d'établir des comparaisons avec le scénario sur mesure développé dans eREN.

### LE CHOIX DES ÉTUDES DE CAS ANALYSÉES

Des dix bâtiments des cas d'étude d'eREN, quatre ont été écartés pour les raisons suivantes:



ÉTUDE DE CAS 01 ÉTUDE DE CAS 04 ÉTUDE DE CAS 06 ÉTUDE DE CAS 09

Étude de cas 01: bâtiment de 1901 comportant une façade sur rue en pierre richement décorée, impropre à l'emballage pour des raisons patrimoniales pour la façade sur rue, isolation périphérique déjà prévue pour la façade sur cour.

Étude de cas 04: bâtiment pour lequel une solution en isolation périphérique a été développée dans le cadre d'eREN.

Étude de cas 06: bâtiment pour lequel une solution en isolation périphérique a été développée dans le cadre d'eREN.

Étude de cas 09: bâtiment habillé par une façade rideau en verre qui ne peut être habillé d'isolation périphérique.

Les six autres bâtiments ont été traités dans eREN-périphérique.



ÉTUDE DE CAS 02 ÉTUDE DE CAS 03 ÉTUDE DE CAS 05 ÉTUDE DE CAS 07 ÉTUDE DE CAS 08 ÉTUDE DE CAS 10

<sup>1</sup> Rénovation énergétique - Approche globale pour l'enveloppe du bâtiment, Stefanie Schwab, Lionel Rinquet, Grégory Jaquerod, Guillaume Rey, Stéphane Citherlet, Didier Favre, Sébastien Dervev, Gilbert Morand, Jean-Luc Rime, Reto Camponovo, Peter Gallinelli, juin 2016, ISBN 978-2-9701005-2-2.

Dans les projets de rénovation, l'accent n'est que trop rarement mis sur une analyse et un processus décisionnel multicritères. La rénovation est prioritairement «attaquée» du côté du bilan thermique. Cet élément est certes important, mais ne doit pas occulter les autres aspects qui sont en jeu et dont dépend la durabilité et la qualité du projet de rénovation, pour les occupants et pour les usagers de la ville. C'est pourquoi les résultats de la présente étude sont analysés selon les critères établis dans le projet eREN qui couvrent de notre point de vue l'ensemble des aspects à considérer dans le cadre d'une approche globale de la rénovation énergétique de l'enveloppe d'un immeuble.

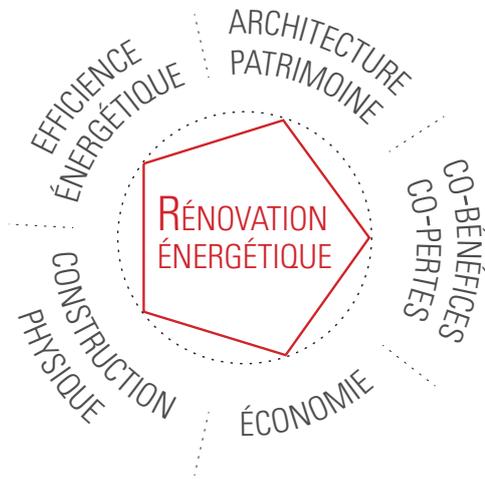


Fig. 02 Objectifs à considérer lors de la rénovation énergétique de l'enveloppe des bâtiments.

## ARCHITECTURE ET PATRIMOINE

L'emballage périphérique systématique des immeubles qui forment le tissu urbain est problématique. On assiste petit à petit à une défiguration du parc existant qui, même s'il est ordinaire et ne présente pas de qualités exceptionnelles justifiant une inscription à l'inventaire, contribue de manière déterminante à l'image de nos villes. Le bâti fixe des repères temporels, témoins de l'époque de construction, partie intégrante de la mémoire collective de nos cités. Effacer ces témoignages revient à accepter une perte de repères et d'identité collective.

Prises une à une, la transformation des immeubles semble anodine, mais à grande échelle, il est à craindre que cette mutation entraîne par banalisation une perte de caractère irréversible de nos villes, qui se distinguent de manière heureuse de celles d'autres pays par la diversité de leurs architectures et par une empreinte forte de leur histoire [voir figures 03 à 04].

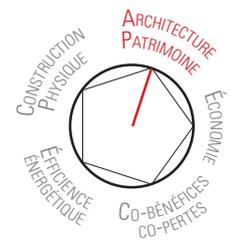


Fig. 03 et 04 Disparition des qualités architecturales d'un immeuble d'habitation (Hamm, Allemagne) après une rénovation énergétique.



Au niveau des objets en soi, la comparaison entre les solutions proposées dans eREN et eREN-P démontre que les solutions périphériques « standards » tendent à faire disparaître les caractéristiques architecturales des bâtiments [voir figure 05]. Dans les bâtiments de la première moitié du siècle, les éléments de décors soignés, les encadrements de fenêtre en pierre naturelle et les corniches disparaissent complètement sous l'isolation [voir figure 12 à 15]. Le traitement différencié des socles de bâtiment s'uniformise derrière une couche d'isolation crépie [voir études de cas 02 et 03]. Alors qu'avec une approche globale des interventions, les scénarios d'eREN maintiennent ces détails [voir études cas 01 à 03 par exemple].

Fig. 05 Évaluation du maintien des caractéristiques architecturales par élément. L'extérieur du cercle correspond à un élément non rénové, le cercle intérieur 1 à un élément rénové en conservant l'apparence, le cercle intérieur 2 à un élément rénové en modifiant l'apparence.

- scénario 1 eREN
- scénario 2 eREN
- scénario eREN-P

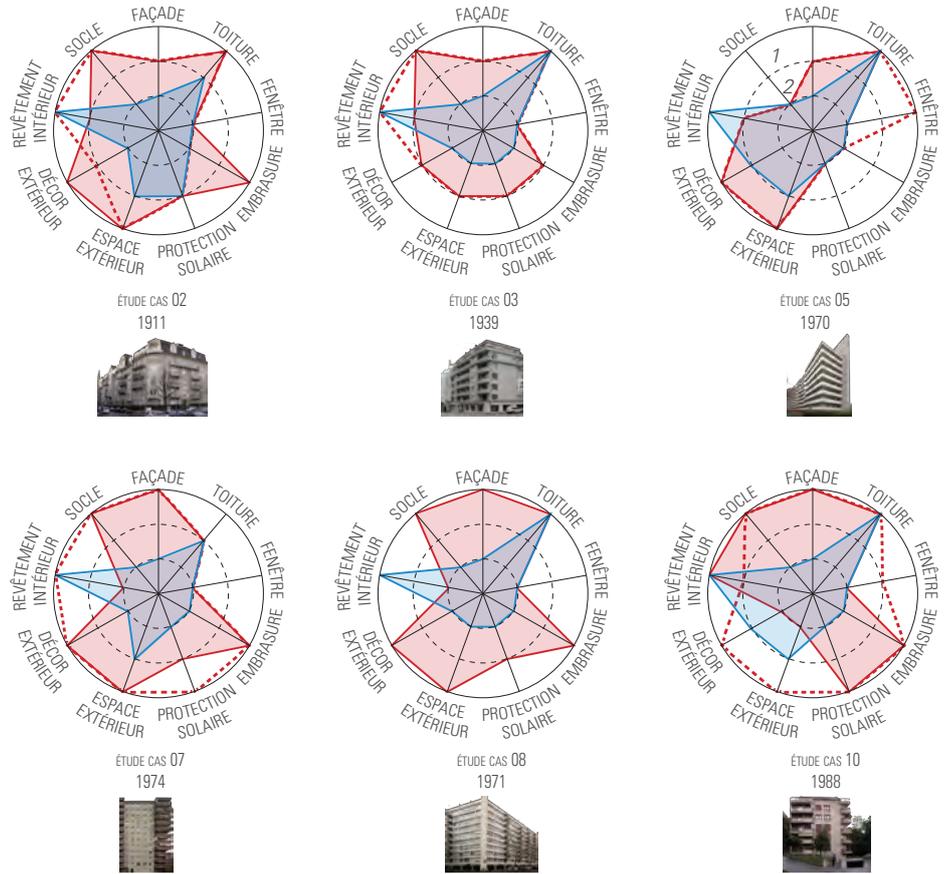


Fig. 06 à 09 À gauche, la pose d'une isolation périphérique fait disparaître les décors, les embrasures en pierre naturelle et entraîne une modification des ferronneries. À droite, l'étude de cas 02 avec la solution eREN, certes plus intrusive pour les occupants, mais qui préserve les décors et embrasures.





Fig. 10 et 11 À droite, substitution du crépi structuré par un aplat banal, appauvrissement des garde-corps des balcons, disparition des éléments de tablette en simili et intégration douteuse des descentes d'eau sur un bâtiment et à gauche, son «jumeau» (Zürich).

Une solution d'isolation extérieure bien planifiée et exécutée protège la structure et diminue les ponts thermiques. Mais les interventions d'emballage courantes appliquées de manière «standard» n'améliorent que rarement les qualités architecturales de l'immeuble. Aplatissement et prise d'embonpoint, enfoncement des fenêtres, réduction des vides de lumière liée à la couche d'isolation provoquent une perte d'équilibre des pleins-vides de la façade [voir figures 07 et 08]. Le remplacement des cadres de fenêtre en bois par du PVC blanc plus large et criard, la disparition des volets et l'appauvrissement de la mise en œuvre des crépis sont également synonymes de perte de qualité architecturale.

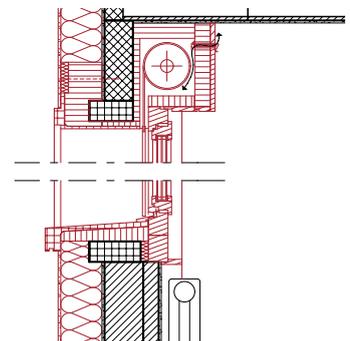


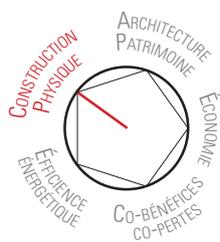
Fig. 12 et 13 À gauche, un immeuble (Lausanne) sans isolation extérieure. À droite, la diminution des vides de lumière, la modification des proportions des «pleins et vides», l'enfoncement des fenêtres, l'aplatissement de la façade due à la disparition des encadrements de fenêtres après la mise en œuvre d'une isolation extérieure sur un immeuble «jumeau».

Ce n'est pourtant pas une fatalité, selon les caractéristiques du bâtiment et avec une étude de détail soignée, des solutions d'isolation extérieure de qualité sont possibles [voir études cas 04 et 06 par exemple]. Une épaisseur d'isolation adaptée et variable selon les emplacements sur le bâtiment, un traitement soigné des encadrements, un déplacement de la fenêtre vers l'extérieur, un choix de teinte et de cadre de fenêtre réfléchi, une finition de crépi structuré évitent une banalisation de notre environnement bâti et du caractère de l'immeuble.

Une solution d'isolation extérieure bien étudiée peut compenser une intervention minimale sur d'autres parties du bâtiments, par exemple une façade «rue» richement décorée [voir étude de cas 01 eREN].

Fig. 14 et 16 À droite, le détail du scénario de l'étude de cas 06 d'eREN avec une isolation extérieure et des embrasures en ciment reconstruites. À gauche, le résultat sur un immeuble rénové de manière similaire (Fribourg).





## CONSTRUCTION ET PHYSIQUE

En préambule il convient de rappeler qu'en matière constructive et de physique du bâtiment, une intervention sur un immeuble existant n'est jamais simple, quelle que soit la stratégie d'assainissement adoptée. À ce titre, l'emballage périphérique présente des avantages mais aussi des risques.

**Les ponts thermiques:** l'isolation périphérique présente en principe des avantages en matière de résolution des ponts thermiques au droit des têtes de dalles.

Mais on constate souvent que faute d'un véritable projet de détail de nombreux points sensibles restent sans réponse satisfaisante. Trop souvent le projet d'assainissement se limite à la stratégie de la « ligne rouge », qui consiste à schématiser le projet et à le réduire à une ligne théorique de continuité thermique [voir figure 17]. Ce procédé de planification simplifié à l'extrême est un raccourci qui néglige de régler des détails essentiels [voir figures 18 et 19].

On pense particulièrement au cas des dalles de balcons (qui peut être parfois résolu par le sciage des balcons, avec les incidences financières et architecturales irréversibles que cela représente), à celui des avant-toits, des parties enterrées et des embrasures de fenêtre (réduction de l'épaisseur d'isolation pour maintenir un vide lumière acceptable).

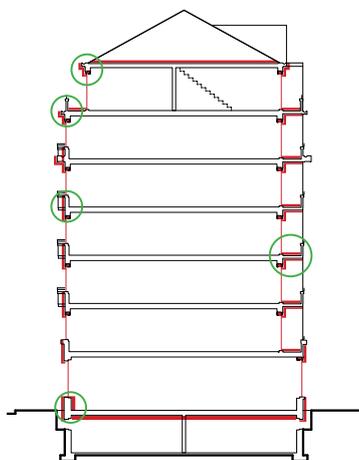


Fig. 17 La ligne théorique de continuité d'isolation thermique de la coupe de l'étude de cas 03 avec les ponts thermiques à résoudre (en vert).

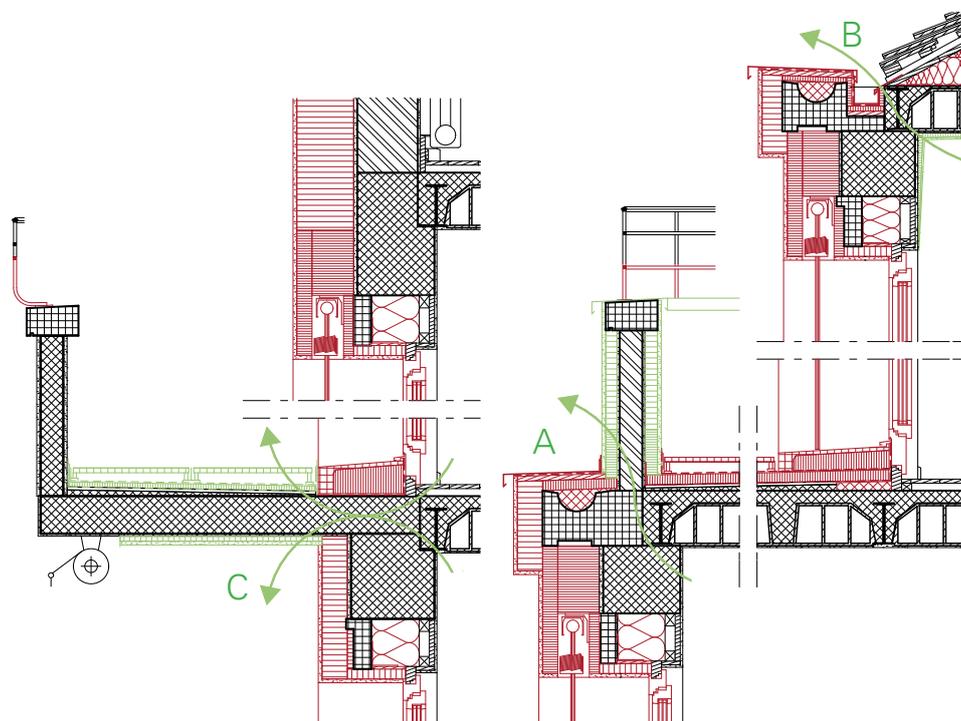


Fig. 18 et 19 Détails de l'étude de cas 03. L'isolation périphérique ne résout pas tous les ponts thermiques sans difficulté. En vert, les mesures qui sont parfois négligées telles que l'isolation du parapet de l'attique pour atténuer le pont thermique du muret au contact de la dalle (A), l'isolation intérieure de l'angle pour atténuer le pont thermique à la jonction entre le mur et la toiture (B) ou l'isolation dessus et dessous la dalle de balcon (C).

Dans l'exemple du cas d'étude 06 d'eREN [voir figures 20 et 21], les problématiques liées à l'isolation périphérique (doublée d'une façade ventilée) ont été traitées en sciage des balcons et les remplaçant par une structure auto porteuse, en déplaçant le plan des fenêtres vers l'extérieur pour éviter l'effet tunnel (mesure trop rarement mise en œuvre car impliquant des travaux intérieurs plus conséquents que le remplacement des fenêtres dans leur plan d'origine) et en supprimant le caisson de store intérieur.

Cette solution implique néanmoins un changement radical de l'image de l'édifice et elle a un coût relativement élevé.

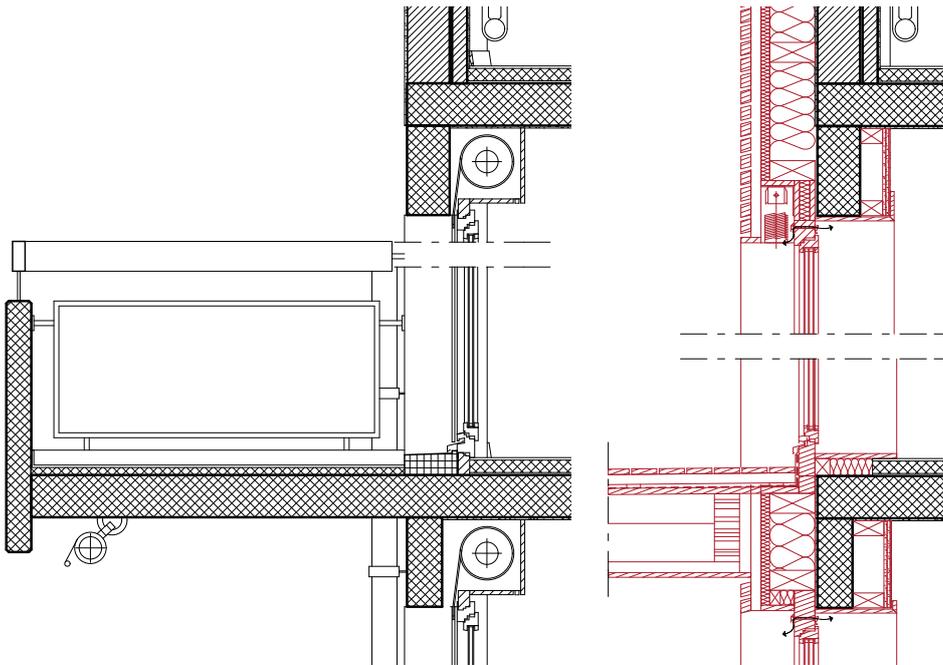


Fig. 20 et 21 À gauche l'état existant et à droite la solution d'emballage extérieure avec un bardage de l'étude de cas 06 d'eREN.

**La résistance mécanique:** dans la plupart des cas, les bâtiments rénovés actuellement présentent d'origine une enveloppe «en dur» (maçonnerie, béton, béton préfabriqué), très résistante mécaniquement, dont la durée de vie, moyennant un entretien régulier, est presque infinie.

L'emballage d'enveloppes de ce genre pose inévitablement la question de la durabilité de la solution de remplacement, bien plus limitée que celle de l'original [voir figures 22 à 25]. En effet, la durée de vie des premiers emballages périphériques (le plus souvent associés à des crépis synthétiques) est en train d'être établie de facto à une trentaine d'années, puisque nous sommes aujourd'hui en train de rénover les premiers bâtiments construits avec cette technique dans les années 1980.

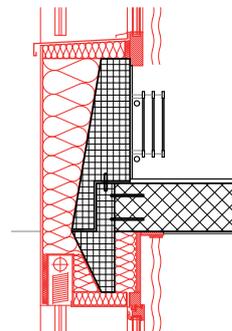


Fig. 22 et 23 Détail de l'étude de cas 08, un bâtiment construit en 1970 avec à gauche la façade en béton existante et à droite le détail de la solution d'emballage périphérique avec une isolation crépie moins résistante et durable.

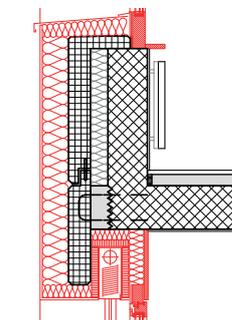


Fig. 24 et 25 Détail de l'étude de cas 10, un bâtiment construit en 1988 avec à gauche la façade en béton existante et à droite le détail de la solution d'emballage périphérique avec une isolation crépie moins résistante et durable.

Fig. 26 à 28 Détail de l'étude de cas 03, avec son socle actuel en plaques de ciment résistantes aux sollicitations d'une rue fréquentée. À gauche, la solution eREN et la conservation des plaques de ciment et à droite la solution d'emballage périphérique avec une isolation crépie.

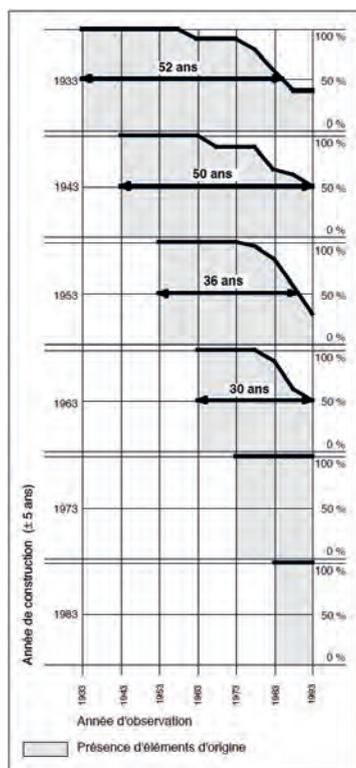
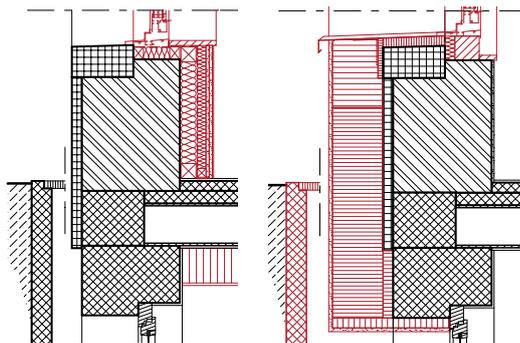
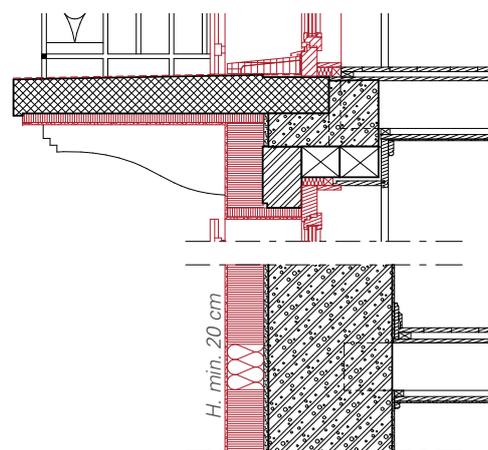


Fig. 29 «La détermination du moment de remplacement nous renseigne sur la durée pendant laquelle un élément d'origine subsiste sur le bâtiment». Figure extraite de la publication «Vieillessement des éléments de construction et coût d'entretien» de 1995, p.17.

2 Vieillessement des éléments de construction et coût d'entretien – Données pour l'entretien et la rénovation des immeubles d'habitation, Office fédéral des questions conjoncturelles, Programme d'impulsion PI BAT – Entretien et rénovation des constructions, 1995, ISBN 3-905234-73-4.

3 Directives AEAI: association des établissements cantonaux d'assurance incendie.

Fig. 30 et 31 Façade avec bandes isolantes incombustibles nécessaires au niveau des étages dans l'étude de cas 02.



Les techniques constructives voient en général leur durée de vie diminuée au fur et à mesure de l'écoulement du temps. Pour étayer ce propos, nous nous référons à l'une des conclusions de l'étude «Vieillessement des éléments de construction et coût d'entretien»<sup>2</sup>, qui date de 1995 mais qui reste d'actualité: «En règle générale, la durabilité de l'élément (de construction) est d'autant plus basse qu'il est récent» [voir figure 29]. La question du bilan en cycle de vie de ces interventions doit donc être posée.

**La résistance au feu:** ces mêmes produits, d'origine pétrolière (EPS, XPS, PUR, etc.), ne sont pas bons en matière de comportement incendie. Les directives 2015 de l'AEAI<sup>3</sup> exigent des isolations incombustibles pour certains types de bâtiments ainsi que pour ceux de plus de 30m et des bandes filantes coupe-feu à chaque étage dès une hauteur de 11m, bande filante dont la mise en œuvre peut s'avérer problématique selon la géométrie de la façade et des ouvertures [voir figures 30 et 31]. Ces normes encouragent l'usage exclusif de laines minérales, mais les considérations économiques peuvent l'emporter, avec pour résultante une moins bonne résistance au feu, tout en étant conforme aux directives de l'AEAI.

**Les algues:** pour des raisons de coût, nombre d'assainissements énergétiques sont opérés à l'aide de produits légers (EPS, XPS, PUR) qui manquent d'inertie, ce qui favorise la condensation en surface entraînant l'apparition d'algues ou de mousses sur les façades (surtout sur les façades nord, effet accentué par la présence de végétation) [voir figure 33].

**Les crépis synthétiques:** outre l'isolant, les crépis synthétiques, souvent mis en œuvre dans les projets de rénovation sensibles aux coûts, peuvent aussi poser problème. Ne permettant pas (ou peu) la diffusion de vapeur, toute humidité emprisonnée entre l'isolant et le crépi (diffusion de vapeur mal contrôlée depuis l'intérieur ou infiltrations aux raccords d'embrasures des fenêtres) est susceptible de provoquer un cloquage du crépi. On notera aussi au passage que ces crépis intègrent des fongicides (justement destinés à résoudre les problèmes de moisissure) qui ruissellent et rejoignent les collecteurs d'eaux claires avec les problèmes de micro-pollution que cela peut entraîner.

**La qualité de la mise en œuvre:** finalement, la mise en œuvre de l'isolation périphérique est elle aussi déterminante. Le choix de l'isolation périphérique et du type d'isolant, sont souvent liés à un objectif d'abaissement des coûts (pas aussi évident que cela, voir chapitre coûts), qui va de pair avec une volonté générale de construire à bon marché. La recherche d'économie tout au long de la chaîne de mise en œuvre peut avoir comme résultat une qualité de pose médiocre. Il peut en résulter des marques de ponts thermiques résiduels (nombreux parachutes de fixation mécanique), une performance amoindrie ayant pour cause des joints ouverts cachés sous le crépi, etc. [voir figures 32 et 34].



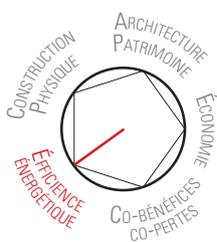
Fig. 32 à 34 De gauche à droite, les joints ouverts dans l'isolation périphérique, (Vevey). Les algues et les mousses sur le crépi posé sur l'isolation périphérique en façade nord, accentuées par la présence d'arbres, une dizaine d'années après la construction (Vevey). Et les nombreuses fixations mécaniques de l'isolation périphérique de première génération d'un bâtiment (Fribourg) qui apparaissent au travers du crépi. Aujourd'hui on doit déjà les rénover.

Les solutions «sur mesure» prônées dans l'étude eREN ne sont pas pour autant exemptes de tout risque. D'une manière générale ces scénarios dépendent de détails très finement élaborés, qui combinent des mesures parfois subtiles nécessitant un suivi de chantier de tous les instants et une connaissance approfondie des techniques constructives, des matériaux et des principes de physique du bâtiment.

Par exemple, lorsqu'elle est appliquée, l'isolation par l'intérieur pose invariablement la question de la diffusion de vapeur et la qualité de la mise en œuvre du pare-vapeur est déterminante. Le risque de condensation dans les espaces interstitiels entre la face extérieure de l'isolant et la face intérieure de la couche porteuse ne doit être négligé sous aucun prétexte, tout comme la gestion des ponts thermiques en tête de poutres (bois) ou de dalle (béton). On pourra minimiser les risques en utilisant des isolants résistants à la diffusion de vapeur (verre cellulaire) ou diffusants (béton cellulaire) soigneusement encollés sur le support pour éliminer les interstices, en réduisant l'épaisseur de l'isolation là où les risques de ponts thermiques sont critiques, en évitant de sur-isoler pour maintenir le point de rosée à l'extérieur de la face interne du support et en utilisant des crépis minéraux ouverts à la diffusion de vapeur.

Dans une option comme dans l'autre, constructivement, c'est avant tout les compétences du mandataire en charge du projet (pour autant qu'il y en ait un), du sérieux des entreprises et de l'acceptation de la part du maître de l'ouvrage que l'atteinte des objectifs énergétiques comme des autres objectifs est dépendante de la qualité du projet, des matériaux et de la main d'œuvre, qualité qui a un coût.

Finalement, quelle que soit l'option retenue, on ne saurait trop insister sur l'importance de combiner systématiquement la réflexion sur un assainissement énergétique de l'enveloppe avec un concept de ventilation et de renouvellement d'air adéquat. A défaut, des problèmes de salubrité intérieure (moisissures en particulier) peuvent découler d'une sur-étanchéité de l'enveloppe.



## BILANS THERMIQUES

Pour mémoire, afin de pouvoir établir des comparaisons en termes d'impact architectural, de coûts et de valeur d'usage, l'objectif des scénarios «périphériques» n'était pas une maximisation des gains énergétiques (Minergie P, THPE) mais le respect des prescriptions minimales de la norme SIA 380/1 (éd. 2009), comme cela était le cas pour les scénarios «sur mesure» de l'étude eREN.

Tout comme pour les scénarios d'eREN, l'objectif d'atteinte des valeurs seuils énergétiques de la norme SIA 380/1 (éd. 2009) a été respecté pour tous les scénarios «périphériques» [voir graphique figure 34].

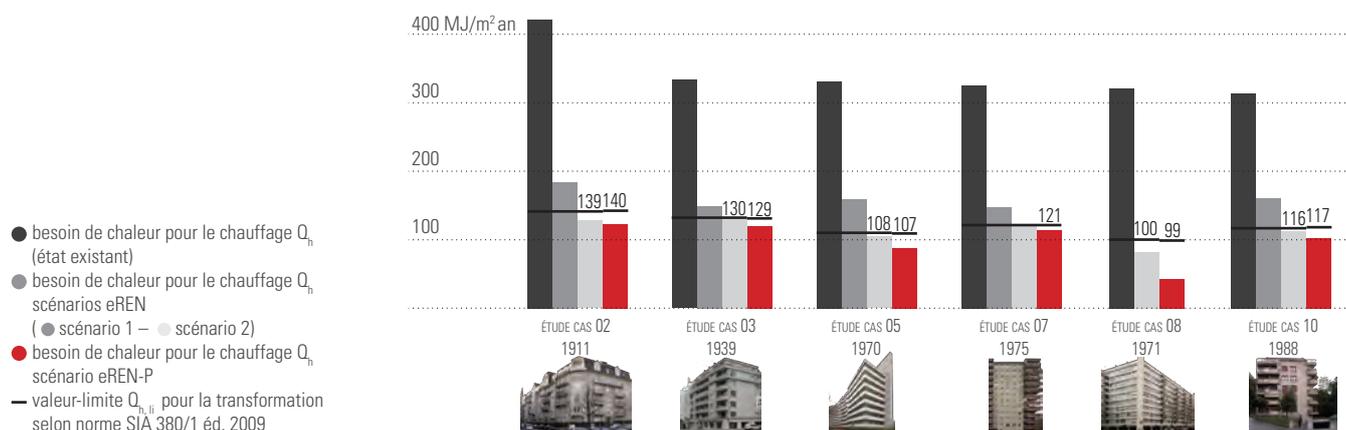


Fig. 34 Représentation des besoins de chaleur pour le chauffage Q<sub>h</sub> «calculés» de l'état existant (noir), des besoins de chaleur pour le chauffage Q<sub>h</sub> «calculés» des scénarios de rénovation eREN (gris) et des besoins de chaleur pour le chauffage Q<sub>h</sub> «calculés» du scénario de rénovation eREN-P (rouge) en MJ/m<sup>2</sup>an.

En moyenne le besoin de chauffage Q<sub>h</sub> (calculé) des six bâtiments de l'échantillon avant travaux est de 345 MJ/m<sup>2</sup>, il descend à 113 MJ/m<sup>2</sup> avec les scénarios eREN (-67%) et à 97 MJ/m<sup>2</sup> avec les scénarios d'emballage périphériques (-72%). Le gain supplémentaire par rapport à la situation initiale n'est en moyenne que de 5% mais il est impossible d'en tirer des conclusions (si ce n'est que les 2 options permettent d'atteindre les valeurs prescrites par la norme) ni d'établir de comparaisons. En effet le postulat de départ était le même dans les deux cas: faire le nécessaire (mais pas plus) pour atteindre le Q<sub>h</sub> limite de la norme SIA 381/1: il est donc logique que les résultats soient aussi proches. Le gain supplémentaire de 5% est donc dû au «hasard constructif».

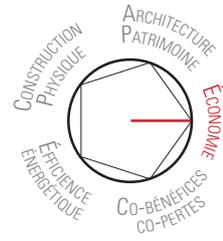
L'étude de cas 08 représente une amélioration plus importante que les autres car dans le scénario eREN, il a été procédé à une isolation intérieure exclusivement, ce qui entraîne la création de ponts thermiques importants, réglés par l'isolation périphérique. Cependant, cette dernière se heurtera à la géométrie à facette de la façade.

Si l'ambition avait été d'atteindre des niveaux de performance énergétique encore plus élevés, il est très probable que la solution périphérique aurait été plus efficace (possibilité d'augmenter encore l'épaisseur d'isolation) mais pour un coût supérieur, une perte des caractères architecturaux encore plus importante et plus de co-pertes [voir chapitre co-bénéfices et co-pertes p.17].

Il apparaît également que le premier scénario sur mesure développé pour eREN (scénario le plus logique architecturalement et constructivement mais n'atteignant pas le Q<sub>h</sub> limite) représente déjà une économie moyenne de 61% par rapport à l'état existant. Ce chiffre se situe 6% au-dessous des scénarios «sur mesure» compatibles avec la norme et 11% au-dessous des scénarios «périphériques». Il convient de se poser la question suivante: est-il raisonnable de mettre en œuvre toute une batterie de solutions constructives plus compliquées et qui renchérissent le coût des travaux pour un gain énergétique relativement marginal, le plus gros du chemin étant fait par des mesures logiques et supportables économiquement?

On relèvera finalement ce qui est à notre sens une faiblesse de la norme SIA 380/1. Comme le montre notre étude, les écarts calculés relatifs entre les différentes solutions sont souvent inférieurs à ce que les spécialistes des bilans thermiques estiment être une marge d'incertitude raisonnable, soit environ +/- 20%.

Le côté en apparence scientifique et absolu du calcul thermique selon la norme, à la décimale près, peut donc se transformer en leurre et amener à prendre des décisions dont la validité sera peut-être mise à mal lors du passage de la théorie à la réalité. C'est sans doute une des origines du «performance gap» qui accompagne les assainissements énergétiques dans la grande majorité des cas.

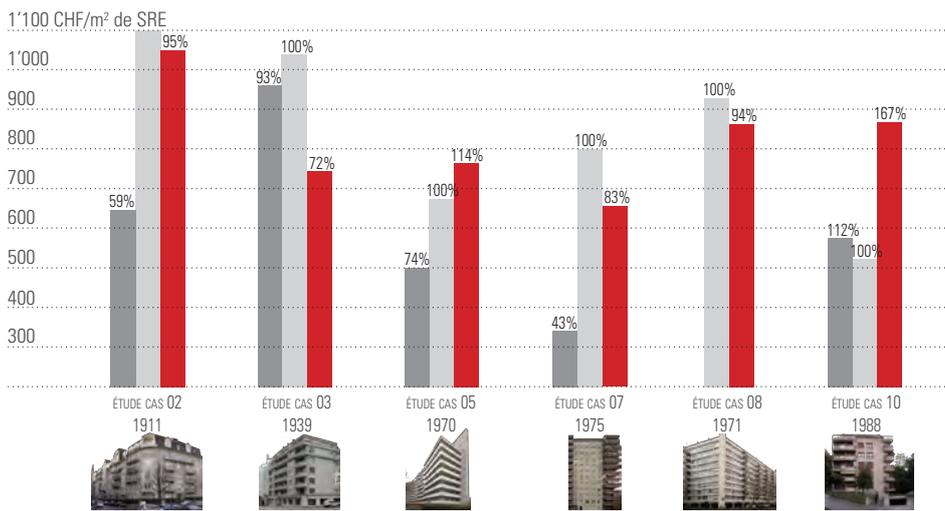


## COÛTS

Dans le comparatif du coût des travaux pour chaque scénario [voir graphique figure 35], on remarque que l'étude de cas 10 mise à part (qui nécessite de très importants efforts dans le scénario «périphérique» pour résoudre les ponts thermiques des balcons), la différence de coût reste contenue dans une fourchette relativement étroite compte tenu du stade du projet (+/- 15% de marge d'erreur à ce stade du chiffrage selon le règlement SIA 102).

Exception faite du cas d'étude 10, la différence moyenne entre les scénarios eREN et périphériques est de 10% en faveur de la solution périphérique. Si le cas d'étude 10 est réintroduit, cette différence passe à 2% en faveur des scénarios périphériques.

On peut donc conclure à l'absence d'une réelle incitation financière à privilégier a priori une solution d'emballage périphérique ou à contrario celle du «sur mesure», qui on l'a vu plus haut présentent des résultats énergétiques similaires.



● coût en CHF/m<sup>2</sup> de SRE des scénarios eREN (● scénario 1 – ● scénario 2)  
● coût en CHF/m<sup>2</sup> de SRE du scénario eREN-P

Fig. 35 Graphique représentant les coûts de rénovation totaux des scénarios eREN (en gris) et les coûts de rénovation totaux du scénario eREN-P (en rouge).

Si l'on se base sur le seul critère financier, le choix d'une solution ou de l'autre devra être opéré au cas par cas. Compte tenu des écarts en général relativement faibles entre les scénarios et de la marge d'erreur du calcul des coûts (voir plus haut) le critère économique ne devrait pas être prépondérant par rapport aux autres dans le choix d'une solution.

Sur un strict plan économique, la vraie différence se situe plutôt entre assainissement global ou interventions ponctuelles. C'est bien la vétusté de certains éléments (fenêtres, crépis, toiture, etc.) qui représente le déclencheur de la réflexion du propriétaire sur ce qu'il convient de faire. C'est à cette occasion que, par effet d'aubaine, un problème ponctuel se transforme en une opération globale, qu'elle consiste en un emballage ou en une intervention plus respectueuse.

Selon ce qui précède, si un propriétaire se décide pour une rénovation globale, il devrait être porté à choisir soit une solution équilibrée du type eREN (qui permet d'atteindre les valeurs légales au niveau énergétique, de maintenir l'intérêt architectural de l'objet, le tout à un coût équivalent à l'emballage), soit une solution qui maximise le gain énergétique mais qui implique un emballage encore plus poussé que celui qui a été étudié ici, avec pour conséquence un coût plus élevé, des difficultés constructives (souvent sous-estimées) et une perte irrémédiable du caractère architectural du bâtiment.

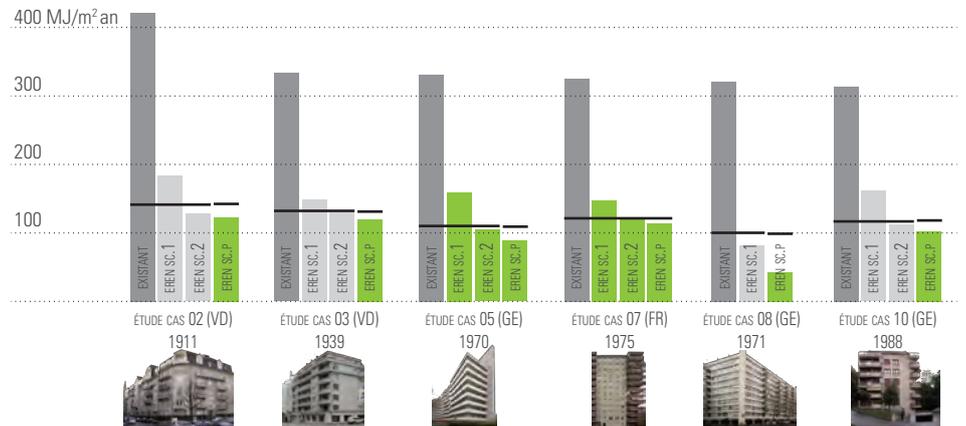
Il est important de relever à ce point que les critères d'obtention des subventions cantonales à l'assainissement énergétique du Programme Bâtiment (non considérées dans le calcul des coûts ci-dessus pour ne pas fausser les comparaisons) peuvent mener dans certains cas à favoriser très clairement la solution d'emballage.

Dans le canton de Fribourg l'obtention des subventions passe soit par l'atteinte de mesures ponctuelles (valeur U) par élément, soit par un saut de classe CECB (certificat énergétique cantonal des bâtiments), ce qui permet au bâtiment étudié [voir étude de cas 07] d'obtenir dans tous les scénarios des subventions.

Dans le canton de Genève [voir études de cas 05, 08 et 10] et Vaud [voir études de cas 02, 03] l'obtention des subventions pour l'assainissement de l'enveloppe des bâtiments (murs et toiture - mesure M-01) passe par l'atteinte de valeurs U ponctuelles pour les éléments assainis. Un bonus est prévu pour une rénovation globale, mais il est soumis au respect des valeurs ponctuelles pour les éléments (mesure M-01).

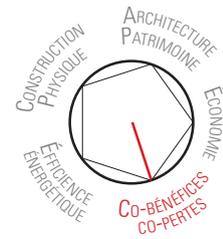
Fig. 36 Tableau comparatif des économies des besoins de chaleur pour le chauffage ( $Q_n$ ) et du potentiel de subventions du Programme Bâtiments selon les scénarios eREN et eREN-P.

- besoins de chaleur pour le chauffage  $Q_n$  (état existant)
- besoins de chaleur pour le chauffage  $Q_n$  scénarios sans subvention du Programme Bâtiments
- besoins de chaleur pour le chauffage  $Q_n$  scénario avec subvention du Programme Bâtiment
- valeur-limite  $Q_{n,li}$  pour la transformation selon norme SIA 380/1 éd. 2009



Tous les scénarios eREN (qui impliquent des stratégies fines de compensation) concernant des bâtiments dans les cantons de Vaud et Genève se verraient refuser une partie des subventions par éléments et l'entier du «bonus global» [voir graphique figure 36], alors que leurs performances énergétiques globales sont identiques à celle des solutions «périphériques» qui de leur côté y auraient droit.

Le système d'octroi des subventions implique donc une distorsion économique en faveur des solutions d'emballage périphériques (sans réelle plus-value énergétique globale) qui le cas échéant peut faire pencher la balance en leur faveur.



## CO-BÉNÉFICES ET CO-PERTES

On divisera les co-bénéfices et co-pertes entre logistique du chantier et valeur d'usage avant et après les travaux.

La gestion des locataires le temps du chantier est une problématique clé (en particulier dans les zones de pénurie de logements comme Genève, voire Lausanne): relogement, baisse temporaire de loyer, bruit et poussière, intrusion dans la sphère privée, gestion des accès sont autant de difficultés auxquelles s'expose la mise en œuvre d'une solution d'isolation intérieure.

En termes de chantier, la solution de l'emballage périphérique a un avantage, celui de limiter les interventions à l'intérieur des logements et les problèmes qui en découlent, ce que permettent aussi les premiers scénarios eREN (scénarios atteignant au moins 70% de l'objectif SIA 380/1 éd. 2009), basés sur des mesures fines (crépis isolants, etc. qui requièrent des mandataires et des artisans qualifiés) qui ont dû être retouchés par des mesures intérieures pour passer le test de la norme.

Ceci dit l'argument peut être discutable: le ravalement et l'isolation des façades sont souvent l'occasion de rafraîchir les appartements, remplacer les cuisines et refaire les salles de bain, ce qui interfère alors aussi avec l'utilisation par les occupants. En outre, dans le cas d'immeubles locatifs, les solutions d'isolation intérieure peuvent être mises en œuvre individuellement dans chaque appartement lorsque ce dernier se libère, en même temps que le rafraîchissement de l'intérieur, sans interférer avec les occupants, et sans nécessiter de condamner les façades pour des mois avec un échafaudage, ce qui est aussi désagréable pour les locataires.

Au niveau des valeurs d'usage, un autre avantage de l'isolation périphérique est de ne pas empiéter sur la surface utile de plancher. Les solutions d'isolation intérieure engendrent une réduction de la surface des pièces. Ceci peut avoir un impact à la baisse sur les loyers et la rentabilité de l'objet ou, le cas échéant, sur la légalité même de la solution si cela implique une réduction de la surface des pièces en deçà des minima légaux.

On a cependant vérifié dans plusieurs cas eREN que l'emprise de l'isolation intérieure devait être relativisée car la démolition du doublage intérieur avant la pose de l'isolation ou l'intégration du radiateur en contre cœur dans des éléments d'enveloppe permet de limiter la perte de surface utile.

Sur les balcons, en revanche, c'est la pose d'isolation périphérique qui amène une réduction de la surface extérieure utile [voir figures 37 à 39]. En pied de façade, l'isolation périphérique peut s'avérer problématique lorsqu'elle empiète sur le domaine public [voir étude de cas 03], voire réduit la largeur d'un trottoir en deçà du minimum légal.

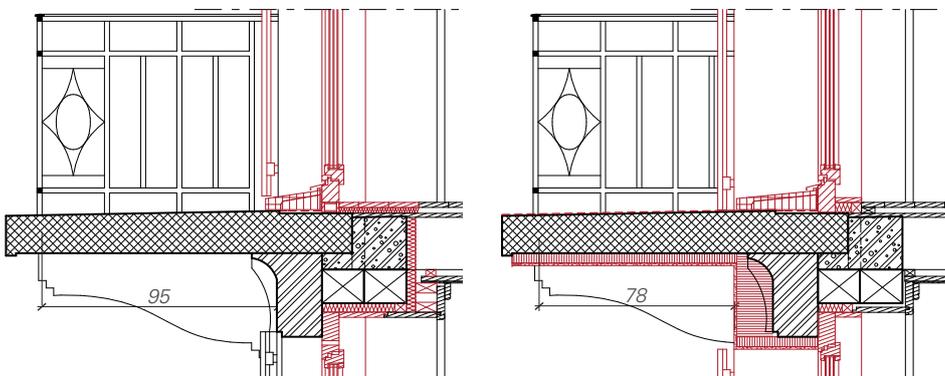


Fig. 37 et 38 Étude de cas 02. À droite le scénario eREN-P et à gauche le scénario eREN. La profondeur des balcons est fortement réduite dans la solution eREN-P et en réduit leur usage.



Fig. 39 Étude de cas 02. Balcon existant.

Fig. 40 et 41 Etude de cas 03. À gauche la solution eREN et à droite la solution eREN-P pour l'isolation des embrasures. La profondeur des embrasures, nettement plus importante dans la solution eREN-P, réduit les angles de vue et la luminosité intérieure.

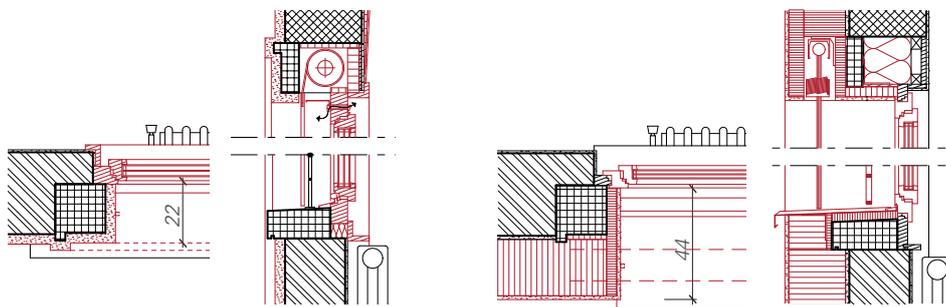


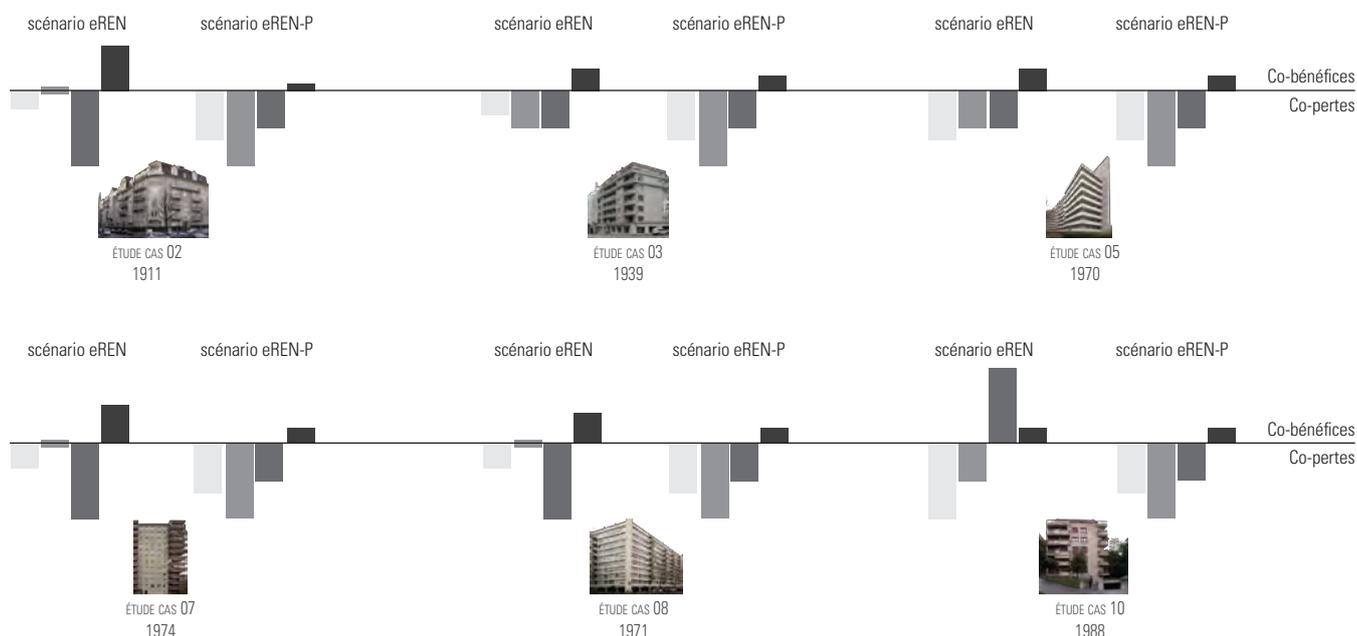
Fig. 42 et 43 À gauche l'étroite embrasure d'une fenêtre avant rénovation du bâtiment de l'étude de cas 03. À droite la profonde embrasure d'une fenêtre après la pose d'une isolation périphérique sur un bâtiment (Fribourg).



Fig. 44 Graphiques d'évaluation des co-bénéfices et co-pertes selon cinq critères pour les dix bâtiments des cas d'étude.

- Lumière
- Résistance mécanique
- Surface utile
- Standard d'aménagement

Le tableau récapitulatif des co-bénéfices et co-pertes [voir figure 44] démontre que pour la plupart des bâtiments (exception du cas d'étude 10) la solution périphérique perd moins de surface utile, même en considérant la surface perdue sur les balcons ou les loggias. Elle est par contre défavorable pour l'apport de lumière naturelle (exception du cas d'étude 10) ou le scénario eREN proposait la fermeture des balcons. L'isolation périphérique apporte peu d'amélioration du standard d'aménagement, sa mise en oeuvre par l'extérieur n'implique pas des travaux sur les cuisines, les salles de bain ou les revêtements de sol. Elle implique parfois de nouveaux stores ou garde-corps. Les solutions « standards » d'eREN-P diminuent la résistance mécanique et la durabilité des éléments rénovés [voir propos p.11] de manière plus importante que les scénarios d'eREN.



## CONCLUSION ET PISTES DE RÉFLEXION

Les deux solutions («sur mesure» avec maintien des caractéristiques de l'enveloppe et emballage périphérique) analysées et basées sur l'échantillon considéré, permettent d'atteindre les valeurs limites pour les bilans thermiques et tendent à l'équilibre en matière de coût des travaux [voir figure 44]. Les solutions des premiers scénarios eREN qui permettent globalement de meilleurs résultats dans tous les critères [voir figure 45], sauf celui de l'énergie, devraient sans doute aussi être prises en considération, par dérogation si nécessaire, lorsque cela se justifie (une bonne rénovation, permettant d'atteindre 80% de l'économie ciblée pour un coût raisonnable vaut mieux que pas de rénovation du tout).

Dans le domaine architectural et patrimonial les problèmes esthétiques engendrés par les solutions d'emballage souvent mal maîtrisées jouent clairement en défaveur de ces dernières.

En termes de physique du bâtiment, les deux solutions induisent des ponts thermiques qui nécessitent un traitement soigné des détails constructifs. Dans deux études de cas [voir études de cas 07 et 08], la solution eREN-P créé moins de risques physiques que le scénario d'eREN atteignant la valeur-limite SIA 380/1. Cependant, 4 scénarios 1 d'eREN présenteraient encore moins de risques [voir figure 45].

En matière de co-bénéfices et co-pertes, l'emballage présente un avantage durant la phase de chantier de par son caractère moins intrusif, mais qu'il faut relativiser (les travaux en façade sont très souvent aussi l'occasion de ravalier l'intérieur, de changer les cuisines et salles d'eau, etc.). En phase d'exploitation, pour autant que la solution alternative à l'emballage n'implique pas de perte significative de surface utile, elle présente l'avantage de maintenir l'apport de lumière et les angles de vue. Tout comme la réduction d'apport de lumière, la diminution de la durabilité et la résistance mécanique [voir propos p. 11] des matériaux mis en oeuvre péjorent pratiquement toutes les solutions «standards» des scénarios eREN-P.

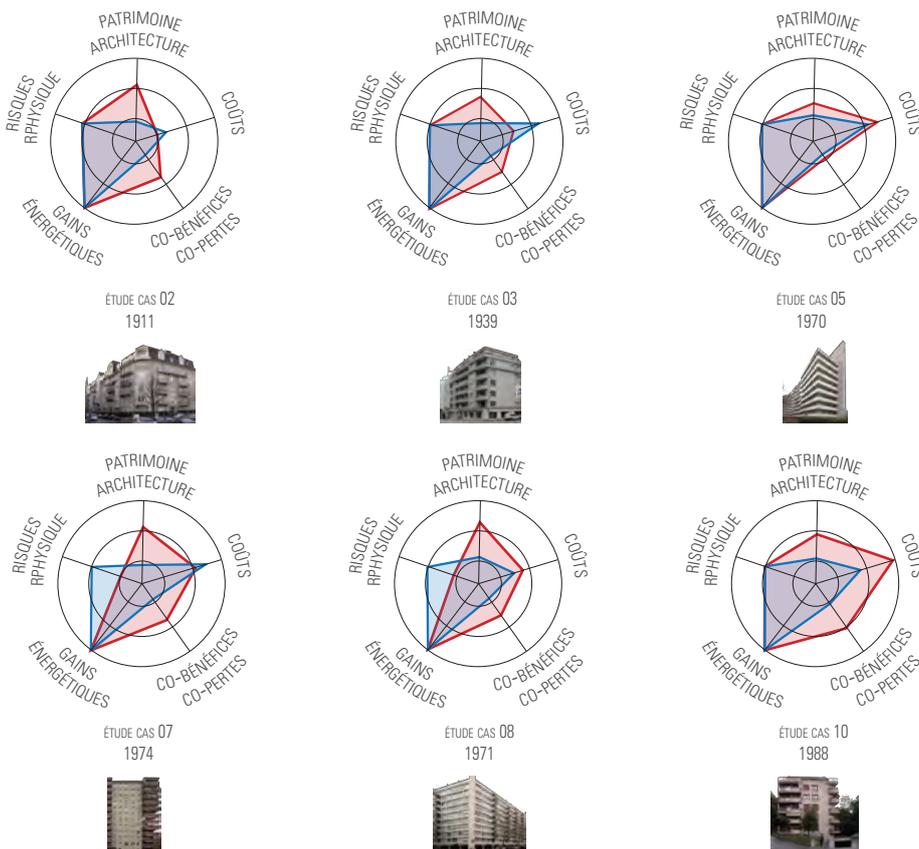


Fig. 45 Graphiques d'évaluation du scénario de rénovation de l'enveloppe qui atteint la norme SIA 380/1 éd. 2009 de l'étude eREN (rouge) et du scénario eREN-P (bleu) pour les six bâtiments selon cinq critères.

**PATRIMOINE – ARCHITECTURE :** [voir critères d'évaluation du graphique p.8].

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

**RISQUES PHYSIQUES :** aucun risque, ponts thermiques sensibles résolus, principes délicats nécessitant un soin particulier à la mise en œuvre (pare-vapeur), détails non résolus.

**Coûts :** 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.18].

Ainsi, chaque maître de l'ouvrage devrait opérer une soigneuse pesée d'intérêts à l'aune des cinq critères ci-dessus, en prenant en compte les cycles de vie des différents éléments de construction de son immeuble, et ne pas exclure d'emblée les alternatives à l'emballage pour des raisons énergétiques ou économiques, étant donné qu'à objectif égal les résultats de la présente étude montrent que l'écart de coût entre ces options n'est pas déterminant (lorsqu'il existe) contrairement à ce qui est généralement dit.

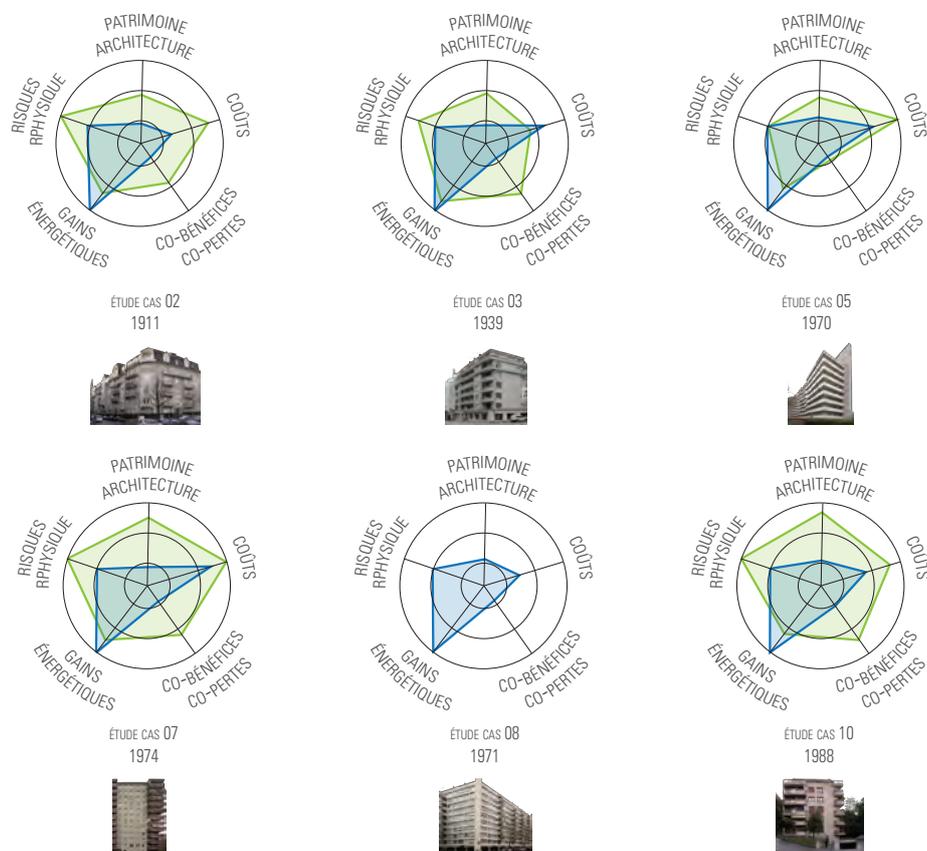


Fig. 46 Graphiques d'évaluation du scénario 1 de l'étude eREN (vert) et du scénario eREN-P (bleu) pour les six bâtiments selon cinq critères. L'étude de cas 08 n'avait pas de scénario eREN qui n'atteignait pas les exigences de la norme SIA 380/1 éd. 2009.

Il ne s'agit pas non plus de prétendre que l'emballage périphérique doit être proscrit (les études de cas 01, 04 et 06 d'eREN proposaient par ailleurs déjà une isolation extérieure) ni d'opposer la protection du patrimoine au nécessaire effort de diminution de la consommation énergétique du parc immobilier.

Simplement, la transition énergétique du parc bâti ne peut se passer d'une réflexion sur ses impacts architecturaux et urbanistiques et les projets doivent être modulés intelligemment pour atteindre le meilleur compromis possible dans un processus qui doit inclure un ensemble de critères (patrimoine, énergie, valeur d'usage, coûts, techniques constructives).

Dans cette optique l'emballage périphérique devrait être « mis en concurrence » dans un panel de solutions pour établir objectivement quelle sera la plus équilibrée. Ce processus doit être accompagné par des professionnels qualifiés. Il prend du temps et il a un coût, qui reste pourtant raisonnable en regard des délais et de l'investissement globaux des opérations d'assainissement qui, prises dans leur ensemble, vont avoir un impact non négligeable sur notre cadre de vie.

Pour focaliser la recherche sur l'architecture et la construction et comparer ce qui est comparable, le choix a été fait de réaliser les calculs et les comparaisons en fixant les conditions normales d'utilisation à des valeurs standards, c'est-à-dire de normaliser l'exploitation du bâtiment: température, débit d'air neuf, temps de présence et l'indice électrique correspondant aux valeurs fixées par la norme SIA 380/1 pour la construction neuve.

Le corollaire de cette donnée est qu'un gisement d'améliorations potentielles important n'est pas pris en compte dans cette étude. L'assainissement des fenêtres entraîne une amélioration de l'étanchéité de l'enveloppe qui diminue la part des infiltrations d'air non-contrôlés (pour autant que la question de la ventilation soit étudiée attentivement). Mais afin d'optimiser les gains énergétiques et s'inscrire dans une démarche de durabilité

l'assainissement de l'enveloppe devrait être couplé à l'installation d'un système de chauffage plus efficace utilisant les énergies renouvelables.

Si l'on met bout à bout ces différents leviers parallèles à l'enveloppe (ventilation contrôlée, production de chaleur, énergies renouvelables), on pourrait, dans les cas de certains bâtiments [voir études de cas 02, 03, 10] qui posent problème, relâcher un peu la pression sur l'isolation de l'enveloppe tout en allant dans le sens de plus de durabilité, et là où ils peuvent se combiner avec une isolation performante, raisonnablement envisager une baisse globale de 80% des besoins énergétiques des immeubles.

L'assainissement énergétique des bâtiments, aujourd'hui consommateurs de la moitié de l'énergie en Suisse, est indispensable pour ouvrir la voie à la transition énergétique et à la migration progressive vers des énergies et un parc de bâtiments réellement durables, mais il ne se limite pas à l'emballage périphérique.

Il nécessite des professionnels qualifiés (qui font défaut de nos jours) à tous les niveaux de la chaîne. Il existe aujourd'hui un « trou de compétences » entre l'expert CECB (qui a une vision très orientée sur l'énergie sans bénéficier de compétences constructives et architecturales) et les artisans (qui suivent les prescriptions de leurs fournisseurs mais manquent de connaissances théoriques pour apprécier au cas par cas le bienfondé des solutions standardisées), tous deux incapables d'assurer la coordination de travaux plus complexes qu'ils n'y paraissent à première vue. C'est ce « trou » qu'il s'agit de combler en formant des mandataires qualifiés (architecte, directeurs de travaux) en nombre suffisant, aptes à faire la synthèse entre les divers enjeux.

Cela requiert aussi une prise de conscience par l'ensemble des acteurs (propriétaires, mandataires spécialisés, architectes, autorités prescriptrices, etc.) de l'ensemble des enjeux, de leurs interdépendances, de la multiplicité des solutions (chaque bâtiment est différent) et des risques que représenterait une « industrialisation » du processus de rénovation dont l'emballage périphérique serait la première étape.

# ANNEXES

## MÉTHODOLOGIE

La méthodologie appliquée à l'étude eREN a été reproduite dans le cadre d'eREN-périphérique.

Un projet détaillé de l'enveloppe de chacun des bâtiments à l'échelle 1:20 a été élaboré, traitant l'ensemble des points clés en termes de ponts thermiques.

Ces scénarios ont été développés avec l'intention de se rapprocher au plus près des pratiques standard actuelles en matière d'assainissement énergétique de l'enveloppe :

Changement des fenêtres et isolation périphérique d'épaisseur d'environ 20cm (laine minérale ou EPS), en tenant compte de la faisabilité constructive (par exemple traitement des caissons de stores intégrés dans l'épaisseur de l'isolation), de la valeur d'usage (profondeur des balcons par exemple), du respect des valeurs U ponctuelles normatives et du traitement (autant que faire se peut) des ponts thermiques.

Pour des questions de comparabilité avec les scénarios d'eREN, l'application de l'isolation périphérique a été faite dans le sens des pratiques standardisées actuelles, permettant d'atteindre les valeurs limites de la norme SIA 380/1 (2009) et non pas dans le sens d'une maximisation du gain énergétique (atteinte des objectifs de très haute performance énergétique ou Minergie P).

Dans cette optique certaines solutions, contraignantes techniquement, n'ont pas été mises en œuvre car les valeurs limites de la norme étaient atteintes sans y recourir. Cela concerne en particulier l'isolation de la dalle du rez-de-chaussée ou du premier étage contre des espaces non-chauffés en présence d'une nappe de réseaux.

Un bilan thermique selon la norme SIA 380/1 (2009) a été établi pour chaque projet. L'exigence minimale fixée était, comme dans le cadre d'eREN, de respecter les plafonds imposés par la norme. Les ponts thermiques, souvent déterminants et critiques dans les solutions d'emballage » ont été soigneusement calculés et la résolution des détails soignée, ce qui n'est pas systématiquement le cas dans la réalité. Ce parti pris a pour but de réduire au minimum des risques liés aux ponts (moisissures, performance gap) mais induit des coûts que les solutions «à la va-vite» laissant de côté les ponts thermiques excluent de facto.

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 Étanchéité 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 métrés 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 deux 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)

Les coûts des éléments ont été uniformisés quelle que soit la situation géographique du modèle.

## CRÉDIT PHOTOGRAPHIQUE

Photo de couverture (2014) © Stefanie Schwab – **03** Photo (2012) © <http://blog.hotze.net> / Benedikt Hotze – **04** Photo (2012) © <http://blog.hotze.net> / Benedikt Hotze – **07** Photo © <http://fgservices.ch> – **08** Photo (2015) © Grégory Jaquerod – **10** Photo (2016) © Lionel Riquet – **11** Photo (2016) © Lionel Riquet – **12** Photo (2017) © Stefanie Schwab – **13** Photo (2017) © Stefanie Schwab – **14** Photo © Jean-Luc Rime – **15** Photo © Jean-Luc Rime – **22** Photo (2015) © Guillaume Rey – **24** Photo (2015) © Guillaume Rey – **26** Photo (2015) © Grégory Jaquerod – **32** Photo (2015) © Lionel Riquet – **33** Photo (2017) © Lionel Riquet – **34** Photo (2016) © Jean-Luc Rime – **39** Photo (2015) © Grégory Jaquerod – **42** Photo (2015) © Grégory Jaquerod – **43** Photo © Jean-Luc Rime

## REMERCIEMENTS À :

Nous remercions la Conférence Romande des Délégués à l'Énergie (CRDE) pour son soutien à ce complément d'étude du projet de recherche eREN.



Afin de compléter l'étude eREN, la CRDE (Conférence romande des délégués à l'énergie) a commandé une étude complémentaire, visant à élaborer pour certains bâtiments de l'échantillon eREN un scénario «périphérique» détaillé, à en calculer le bilan thermique et les coûts et d'établir des comparaisons avec le scénario «sur mesure» développé dans l'étude eREN.

## STRATÉGIE D'INTERVENTION

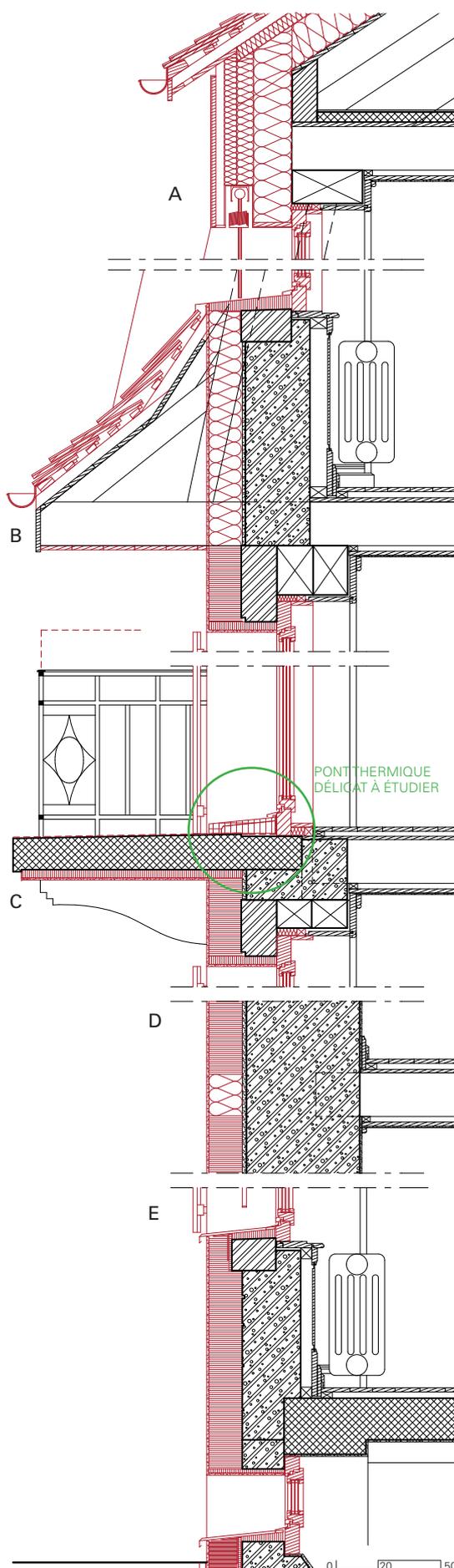
Le scénario (P) propose de mettre en œuvre une isolation extérieure crépi contre le crépi des façades des étages et les moellons du socle. Les fenêtres et les volets sont changés. La toiture est entièrement refaite avec une isolation posée sur les chevrons étant donné la complexité de la charpente des combles. La dalle sur sous-sol n'est pas isolée puisque l'intervention n'était pas nécessaire pour atteindre la valeur-limite SIA 380/1. Ces interventions modifient fortement l'architecture du bâtiment. Elles font disparaître tous les éléments de décor des façades du bâtiment, les embrasures en pierre naturelle et le socle en moellons apparents.

## INTERVENTIONS PAR ÉLÉMENTS

**Murs:** application d'un crépi sur une isolation extérieure en polystyrène expansé de 160 mm contre les façades des étages et du socle, avec une bande d'isolation incombustible entre les étages pour interrompre la propagation du feu. Les embrasures sont isolées avec une isolation de 40 mm de polystyrène expansé. La façade de l'attique est aussi isolée avec 160 mm sous la couverture en tuiles.

**Dalle sur sous-sol et combles:** la dalle sur sous-sol n'est pas isolée à cause des nombreuses cloisons et de la complexité structurelle de la dalle à poutrelle. Le plancher des combles n'est pas isolé, l'isolation de 200 mm de laine de bois de la toiture est posée par-dessus le planchéage existant, elle est recouverte d'une sous-couverture en fibre de bois de 60 mm.

**Espaces extérieurs:** une isolation est posée sous la dalle de balcon afin d'atténuer le pont thermique, le dessus de la dalle n'est pas isolé, seul un nouveau seuil isolé est mis en œuvre. Une étude approfondie du détail du raccord de la dalle au mur serait nécessaire afin d'éviter tout risque de condensation de surface à cet endroit. La dalle supérieure et la dalle inférieure de l'oriel sont isolées par l'extérieur avec respectivement 20 mm de polyuréthane ( $\lambda = 0.022$ ) et 160 mm de polystyrène expansé ( $\lambda = 0.032$ ).



### Mur de façade

U<sub>mes</sub>: 1.75 W/m<sup>2</sup>K

U<sub>cal existant</sub>: 1.70 W/m<sup>2</sup>K

U<sub>cal rénové</sub>: 0.17 W/m<sup>2</sup>K



- . Crépi extérieur
- . Isolation 160 mm,  $\lambda = 0.032$  W/mK
- . Crépi ~15 mm
- . Maçonnerie de moellons 550 mm
- . Enduit intérieur ~10 mm

### Mur de façade socle

U<sub>cal existant</sub>: 1.55 W/m<sup>2</sup>K

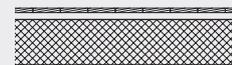
U<sub>cal rénové</sub>: 0.17 W/m<sup>2</sup>K



- . Crépi extérieur
- . Isolation 160 mm,  $\lambda = 0.032$  W/mK
- . Enduit ragréage
- . Maçonnerie de moellons 600 mm
- . Enduit intérieur ~10 mm

### Dalle sur sous-sol

U<sub>cal existant</sub>: 1.35 W/m<sup>2</sup>

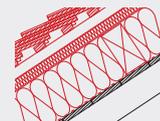


- . Revêtement de sol 20 mm
- . Lattage 30 mm
- . Ciment armé 200 mm
- . Enduit

### Toiture

U<sub>cal existant</sub>: 2.70 W/m<sup>2</sup>K

U<sub>cal rénové</sub>: 0.18 W/m<sup>2</sup>K



- . Couverture en tuiles, lattage
- . Contre-lattage 60 mm
- . Sous-couverture 60 mm,  $\lambda = 0.045$  W/mK
- . Isolation 200 mm,  $\lambda = 0.038$  W/mK
- . Pare-vapeur
- . Planchéage ~20 mm
- . Chevrons en bois 140 mm

### Fenêtres

U<sub>g existant</sub>: 1.1 W/m<sup>2</sup>K

U<sub>f existant</sub>: 1.65 W/m<sup>2</sup>K

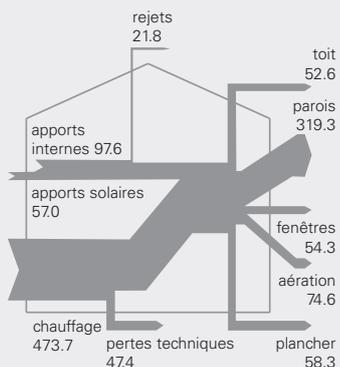
g existant: 0.55

U<sub>g rénové</sub>: 0.6 W/m<sup>2</sup>K

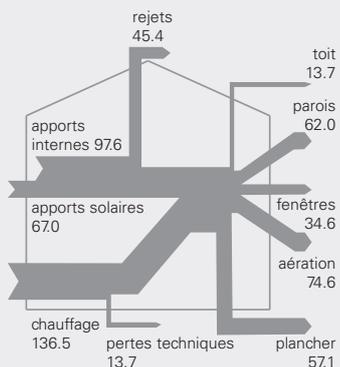
U<sub>f rénové</sub>: 1.1 W/m<sup>2</sup>K

g rénové: 0.67



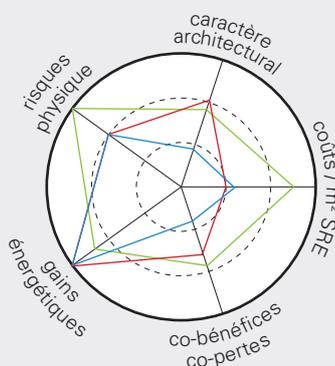


EXISTANT Diagramme de Sankey en [MJ/m<sup>2</sup>]. La valeur limite SIA 380/1 est de 138.3 MJ/m<sup>2</sup> et les besoins de chaleur de chauffage (Q<sub>H</sub>) sont de 426.3 MJ/m<sup>2</sup>.



SCÉNARIO P Diagramme de Sankey en [MJ/m<sup>2</sup>]. La valeur limite SIA 380/1 est de 140 MJ/m<sup>2</sup> et les besoins de chaleur de chauffage (Q<sub>H</sub>) sont de 122.9 MJ/m<sup>2</sup>.

Part des pertes par les ponts thermiques : 13.5 % (si l'on ne tient pas compte des pertes par aération).



— scénario 1  
— scénario 2  
— scénario P

ÉVALUATIONS des scénarios. Un résultat optimal devrait tendre vers une forme circulaire extérieure, sans point faible évident.

Coût / m<sup>2</sup> de SRE (T.T.C.):

- Scénario 1: 645 CHF
- Scénario 2: 1'100CHF
- Scénario P: 1'040CHF

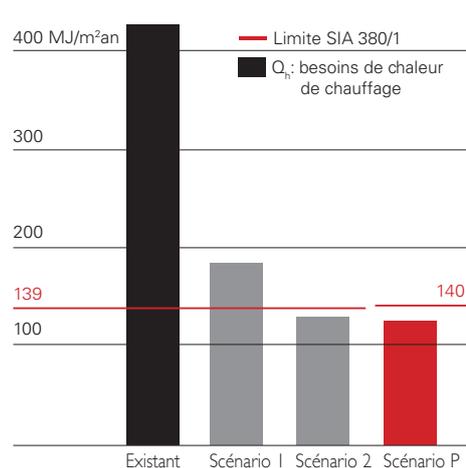


## LES SCÉNARIOS

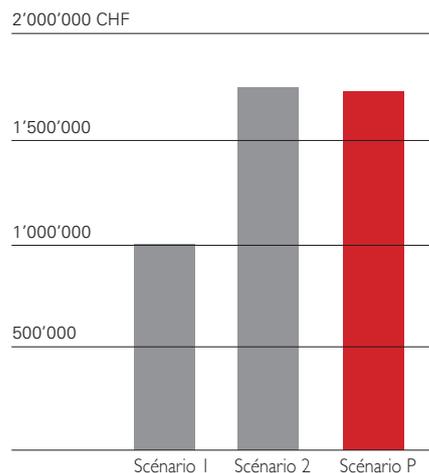
**Scénario 1 (eREN):** l'intervention propose de remplacer le crépi extérieur existant par un crépi isolant existant par un crépi isolant minéral de 40 mm. Le scénario prévoit une isolation de la dalle des combles et de la dalle sur sous-sol ainsi que le remplacement des fenêtres. Il apporte un gain énergétique de 242 MJ/m<sup>2</sup>, soit 57%, pour un investissement de 58% des coûts totaux du scénario 2.

**Scénario 2 (eREN):** il intègre les éléments du scénario 1 avec quelques modifications. Le crépi isolant minéral extérieur est de 20 mm uniquement afin de conserver les embrasures en pierre naturelle. Une isolation en panneau minéral de 60 mm est ajoutée à l'intérieur afin d'atteindre la valeur-limite. Le scénario apporte un gain énergétique de 297 MJ/m<sup>2</sup>, soit 70%.

**Scénario P (eREN):** il intègre le changement des fenêtres, l'isolation extérieure des façades, l'isolation sous les dalles de balcons, l'isolation sur les chevrons de la toiture. Le scénario apporte un gain énergétique de 303 MJ/m<sup>2</sup>, soit 71%, pour un investissement de 98% des coûts totaux du scénario 2.



Graphique des besoins de chaleur (Q<sub>H</sub>) de l'état existant et des différents scénarios.



Graphique des coûts financiers de chaque scénario.

## CONCLUSION

Le scénario P apporte un gain énergétique équivalent pour un investissement financier comparable au scénario 2. Cependant, la mise en œuvre de l'isolation extérieure est difficile (nombreux décrochements, éléments de charpente au niveau de l'attique) et les ponts thermiques des balcons sont compliqués à résoudre. L'isolation extérieure a de multiples conséquences telles que l'ajustage des garde-corps, le sciage de l'enrobé et des murets des aménagements extérieurs le long du bâtiment pour faire descendre l'isolation, la nécessité de changer les volets et réduction de la durabilité du socle en contact avec la rue. Le scénario engendre une perte notable des caractéristiques architecturales telles que les éléments de décor en façade, les embrasures en pierre naturelle, le socle en moellons, les consoles de balcons qui sont partiellement noyées par l'isolation. Les co-pertes sont aussi plus importantes avec une diminution de l'apport de lumière naturelle avec des embrasures plus profondes et des vides réduits, avec aucun co-bénéfices sur le standard d'aménagement intérieur pour les locataires. Le scénario P a l'avantage de causer moins de nuisance pour les locataires et perdre moins de surface à l'intérieur des logements. Cependant, la réduction de la largeur des petits balcons (95 cm à 78 cm) les rend pratiquement inutilisables. Le scénario P n'a plus aucun avantage (hormis celui d'atteindre la valeur-limite de la SIA 380/1) si on le compare au scénario 1.



Le socle en moellons, les balcons sur consoles, les éléments de décor et les embrasures en pierre.

## STRATÉGIE D'INTERVENTION

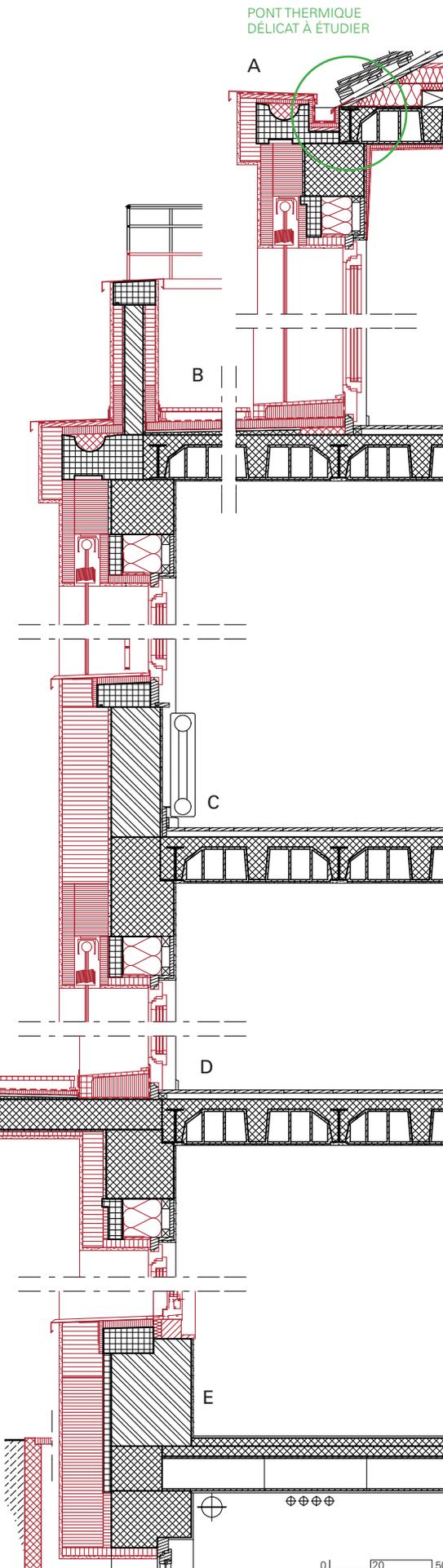
La stratégie adoptée est de mettre en œuvre une isolation extérieure d'une épaisseur suffisante pour y intégrer de nouveaux caissons de store et d'intervenir sur la dalle des combles et les fenêtres. Des interventions sur des éléments comme les embrasures, les corniches, les dalles de balcons et la terrasse de l'attique complètent l'intervention afin d'atténuer les ponts thermiques. Cette intervention fait disparaître certaines caractéristiques architecturales du bâtiment telles que ses embrasures en ciment, ses nombreuses corniches affirmant son horizontalité et son socle en ciment.

## INTERVENTIONS PAR ÉLÉMENTS

**Murs:** application d'un crépi sur une isolation extérieure en polystyrène expansé de 200 mm contre les façades des étages et de l'attique et d'une épaisseur de 160 mm au rez-de-chaussée sur les façades rue et nord, avec une bande d'isolation incombustible entre les étages pour interrompre la propagation du feu. Les embrasures sont isolées avec une isolation de 40 mm de polystyrène expansé.

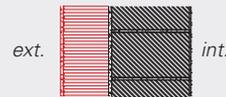
**Dalle sur sous-sol et combles:** l'intervention propose une isolation sur la dalle à hourdis des combles. Elle ne prévoit aucune isolation de la dalle sur le sous-sol non chauffé à cause des nombreuses conduites et cloisons.

**Espaces extérieurs:** les loggias qui créées un pont thermique sont conservées ouvertes. Une isolation extérieure en polystyrène expansé de 120 mm isole leurs façades. Elles sont isolées par-dessus et par-dessous la dalle en ciment. La main courante en ferronnerie est surélevée.



### Mur de façade

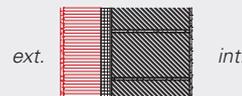
U<sub>mes</sub>: 1.17 W/m<sup>2</sup>K  
U<sub>cal existant</sub>: 1.22 W/m<sup>2</sup>K  
U<sub>cal rénové</sub>: 0.14 W/m<sup>2</sup>K



- . Crépi extérieur
- . Isolation 200 mm,  $\lambda = 0.031$  W/mK
- . Crépi 7 mm
- . Plots de ciment creux 340 mm
- . Enduit plâtre 7 mm

### Mur de façade socle

U<sub>cal existant</sub>: 1.19 W/m<sup>2</sup>K  
U<sub>cal rénové</sub>: 0.17 W/m<sup>2</sup>K



- . Crépi extérieur
- . Isolation 160 mm,  $\lambda = 0.031$  W/mK
- . Plaque de ciment 40 mm
- . Plots de ciment creux 340 mm
- . Plâtre 7 mm

### Dalle sur sous-sol

U<sub>cal existant</sub>: 0.98 W/m<sup>2</sup>K



- . Carrelage ~12 mm
- . Dalle à hourdis T.C.210 mm
- . Enduit plâtre 7 mm

### Toiture, dalle des combles

U<sub>cal existant</sub>: 1.01 W/m<sup>2</sup>K  
U<sub>cal rénové</sub>: 0.14 W/m<sup>2</sup>K

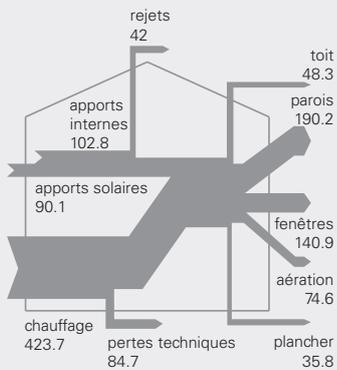


- . Panneau d'aggloméré 20 mm
- . Isolation 120+80 mm,  $\lambda = 0.035$  W/mK
- . Pare-vapeur
- . Dalle à hourdis T.C. 160 mm
- . Enduit plâtre 7 mm

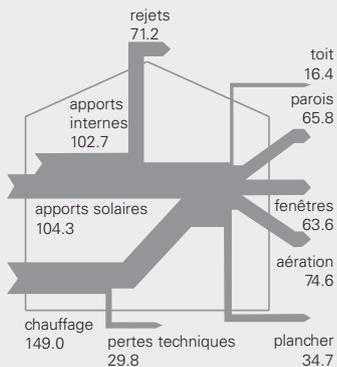
### Fenêtres

U<sub>g existant</sub>: 1.1 W/m<sup>2</sup>K  
U<sub>f existant</sub>: 2.0 W/m<sup>2</sup>K  
g existant: 0.55  
U<sub>g rénové</sub>: 0.6 W/m<sup>2</sup>K  
U<sub>f rénové</sub>: 1.1 W/m<sup>2</sup>K  
g rénové: 0.67



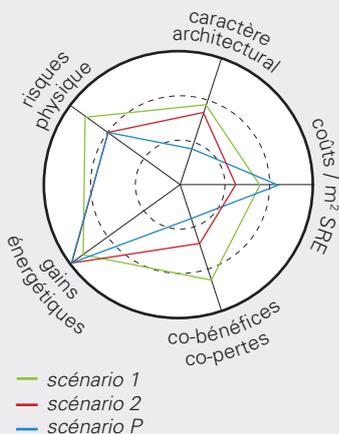


EXISTANT Diagramme de Sankey en [MJ/m²]. La valeur limite SIA 380/1 est de 130 MJ/m² et les besoins chaleur de chauffage ( $Q_H$ ) sont de 338.9 MJ/m².



SCÉNARIO P Diagramme de Sankey en [MJ/m²]. La valeur limite SIA 380/1 est de 129 MJ/m² et les besoins de chaleur de chauffage ( $Q_H$ ) sont de 119.2 MJ/m².

Part des pertes par les ponts thermiques : 21.6 % (si l'on ne tient pas compte des pertes par aération).



ÉVALUATIONS des scénarios. Un résultat optimal devrait tendre vers une forme circulaire extérieure, sans point faible évident.

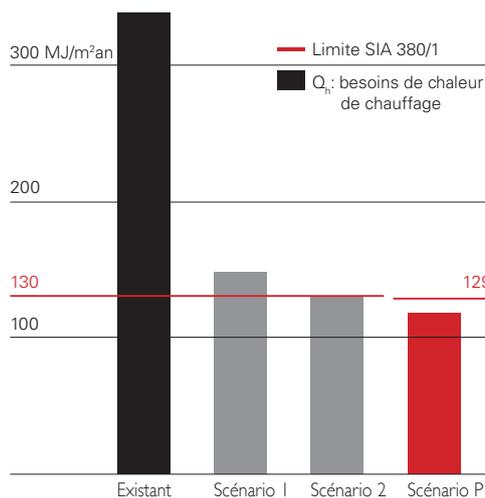
Coût / m² de SRE (T.T.C.):  
 Scénario 1: 960 CHF  
 Scénario 2: 1'030 CHF  
 Scénario P: 740 CHF

## LES SCÉNARIOS

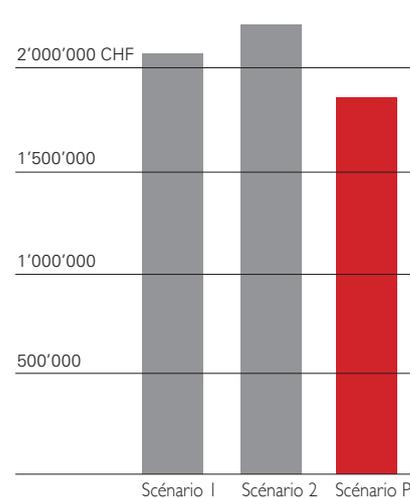
**Scénario 1 (eREN):** il intègre le changement des fenêtres, un crépi isolant minéral, l'isolation par l'intérieur du rez-de-chaussée, l'isolation des balcons, des caissons de store, de la dalle des combles et de la dalle sur sous-sol. Il apporte un gain énergétique de 190 MJ/m², soit 56%, pour un investissement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

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

**Scénario P (eRENp):** il intègre le changement des fenêtres, l'isolation extérieure des façades avec de nouveaux caissons de store extérieur, l'isolation des dalles de balcons, de la dalle des combles. Il apporte un gain énergétique de 220 MJ/m², soit 65%, pour un investissement de 85% des coûts du scénario 2 et 90% du scénario 1.



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



Graphique des coûts financiers de chaque scénario.

## CONCLUSION

Le scénario P atteint des performances énergétiques comparables au scénario 2 avec des coûts légèrement favorable (-15%). L'absence de travaux à l'intérieur (à l'exception de l'attique) et de l'isolation de la dalle sur sous-sol, avec ses nombreuses conduites, expliquent cette différence de coûts. Cependant, l'intervention modifie fortement l'image du bâtiment en faisant disparaître de nombreuses caractéristiques architecturales (corniches, embrasures, socle). L'épaisseur d'isolation crée aussi des nouveaux décrochements verticaux à la jonction avec les parapets des balcons. La largeur des balcons se réduit de 110 ou 145 cm à 97 ou 122 cm. Les marches d'accès aux trois entrées sur la rue créent des discontinuités de l'isolation extérieure. Le socle, en contact avec les sollicitations de la rue, perd la robustesse et la durabilité des plaques de ciment et son isolation correcte nécessite un découpage de l'enrobé et une modification des sauts-de-loup. Les multiples décrochements ne facilitent pas la mise en œuvre d'une isolation extérieure continue et les pertes par ponts thermiques sont toujours importantes. Les tablettes métalliques sur les corniches, les parapets, etc. peuvent provoquer un inconfort acoustique lors de précipitations. En conclusion, le scénario n'est finalement que financièrement favorable, et en comparaison avec le scénario 1, cet avantage diminue même sensiblement (-10%).



Socle en ciment et corniche façade est.



Embrasures et tablettes de fenêtre en ciment.

## STRATÉGIE D'INTERVENTION

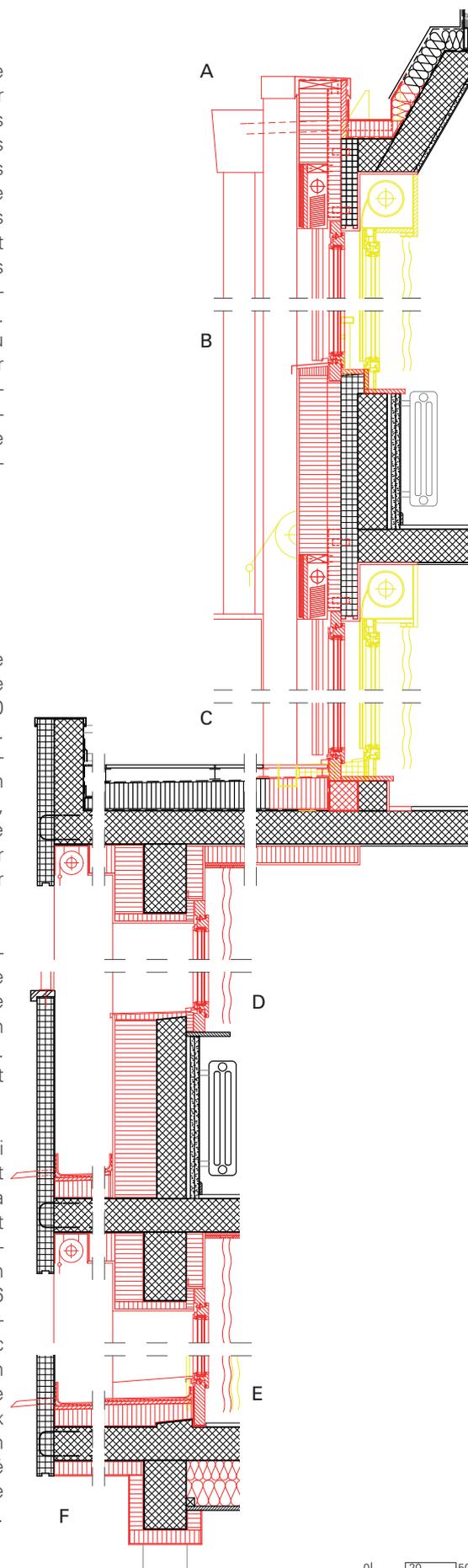
La stratégie adoptée est de mettre en œuvre une isolation extérieure sur le bâtiment au complet. Les balcons sont isolés en dessus et en dessous de la dalle afin de limiter les ponts thermiques. Ayant fait l'objet d'une rénovation récente, les terrasses de l'attique ainsi que la toiture sont maintenues en l'état. L'isolation des embrasures et de la dalle sur rez-de-chaussée complètent l'intervention. Cette dernière ne modifie que peu l'expression du bâtiment marqué par l'horizontalité des balcons. Seul l'attique perd véritablement ses caractéristiques propres, passant d'une façade en simili béton poli à une façade crépie.

## INTERVENTIONS PAR ÉLÉMENTS

**Murs :** application d'un crépi sur une isolation extérieure en polystyrène expansé ( $\lambda = 0.036 \text{ W/mK}$ ) de 200 mm contre les façades de l'attique. Deux épaisseurs différentes permettent de loger le nouveau caisson de store. Les nouvelles fenêtres, posées en applique contre la façade existante, limitent la profondeur des embrasures, assurant un jour suffisant dans les pièces.

**Dalle sur sous-sol et combles :** l'intervention propose une isolation de la dalle sur rez-de-chaussée, dans le faux-plafond existant, avec 100 mm de laine minérale ( $\lambda = 0.04 \text{ W/mK}$ ). Rénové récemment, la toiture ne fait l'objet d'aucune intervention.

**Espaces extérieurs :** les balcons qui longent les façades du bâtiment sont isolés par-dessus et par-dessous la dalle en béton, avec respectivement 80-100 mm de polystyrène extrudé ( $\lambda = 0.043 \text{ W/mK}$ ), et 140 mm de polystyrène expansé ( $\lambda = 0.036 \text{ W/mK}$ ), diminuant les ponts thermiques au point de rencontre avec la façade. Les garde-corps en béton préfabriqués sont rehaussés d'une main courante afin de répondre aux exigences de sécurité. Une isolation extérieure en polystyrène expansé ( $\lambda = 0.036 \text{ W/mK}$ ) de 200 mm isole les façades donnant sur les balcons.

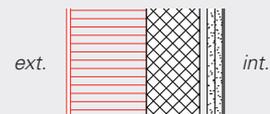


### Mur de façade

$U_{mes}$ : 1.1 W/m<sup>2</sup>K

Ucal existant: 1.53 W/m<sup>2</sup>K

Ucal rénové: 0.17 W/m<sup>2</sup>K



- . Crépi extérieur
- . Isolation 200 mm,  $\lambda = 0.036 \text{ W/mK}$
- . Muret en béton coulé 140 mm
- . Vide d'air 20 mm
- . Plaques de plâtre enduites 40 mm

### Mur de façade attique

$U_{mes}$ : 1.85 W/m<sup>2</sup>K

Ucal existant: 2.12 W/m<sup>2</sup>K

Ucal rénové: 0.16 W/m<sup>2</sup>K

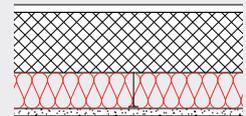


- . Crépi extérieur
- . Isolation 200 mm,  $\lambda = 0.036 \text{ W/mK}$
- . Panneau de béton préfa. 80 mm
- . Muret en béton coulé 140 mm
- . Vide d'air 20 mm
- . Plaques de plâtre enduites 40 mm

### Dalle contre rez-de-chaussée

Ucal existant: 2.14 W/m<sup>2</sup>K

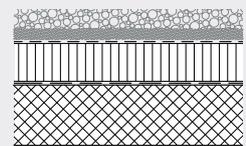
Ucal rénové: 0.29 W/m<sup>2</sup>K



- . Parquet collé 20 mm
- . Dalle béton armé 160 mm
- . Isolation 100 mm,  $\lambda = 0.04 \text{ W/mK}$
- . Faux-plafond suspendu en plaques de plâtre gypsées 40 mm

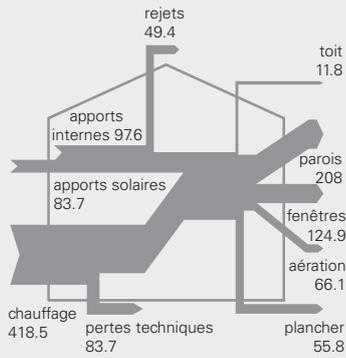
### Toiture

Ucal existant: 0.31 W/m<sup>2</sup>K

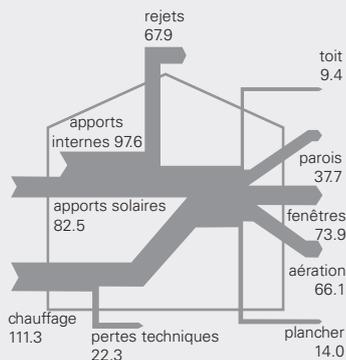


- . Gravier, 50 mm
- . Sable, 30 mm
- . Étanchéité bitumineuse
- . Isolation 100-140 mm,  $\lambda = 0.042 \text{ W/mK}$
- . Étanchéité
- . Dalle béton, 160 mm
- . Lissage plâtre, 10 mm



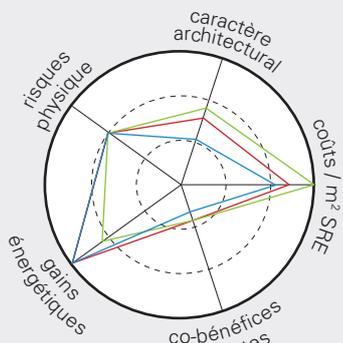


**EXISTANT** Diagramme de Sankey en [MJ/m<sup>2</sup>]. La valeur limite SIA 380/1 est de 108.3 MJ/m<sup>2</sup> et les besoins chaleur de chauffage (Q<sub>h</sub>) sont de 334.8 MJ/m<sup>2</sup>.



**SCÉNARIO P** Diagramme de Sankey en [MJ/m<sup>2</sup>]. La valeur limite SIA 380/1 est de 106.9 MJ/m<sup>2</sup> et les besoins de chaleur de chauffage (Q<sub>h</sub>) sont de 89 MJ/m<sup>2</sup>.

Part des pertes par les ponts thermiques : 18.4 % (si l'on ne tient pas compte des pertes par aération).



- scénario 1
- scénario 2
- scénario P

**ÉVALUATIONS des scénarios.** Un résultat optimal devrait tendre vers une forme circulaire extérieure, sans point faible évident.

**Coût / m<sup>2</sup> de SRE (T.T.C.):**

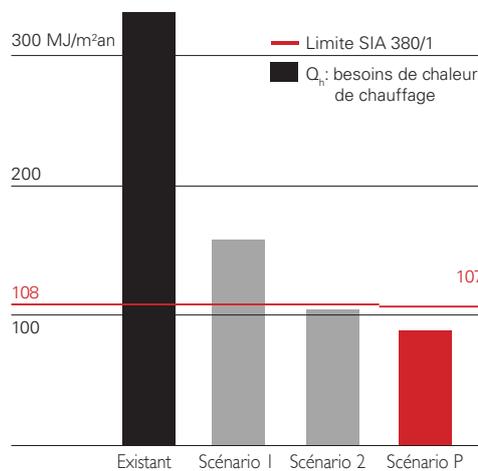
- Scénario 1: 500 CHF
- Scénario 2: 675 CHF
- Scénario P: 770 CHF

## LES SCÉNARIOS

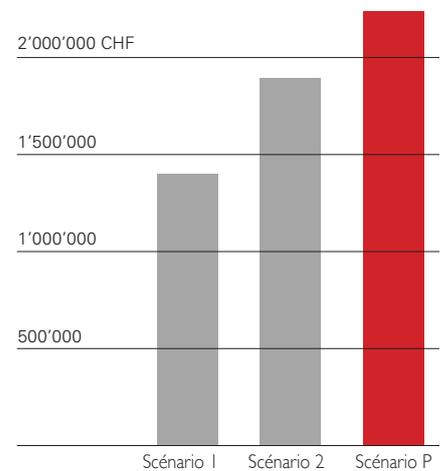
**Scénario 1 (eREN):** il intègre l'isolation des trois façades, des plafonds de balcons, de la dalle sur rez, le remplissage des caissons de stores et l'isolation intérieure de l'attique. Les fenêtres des étages 1 à 8 sont conservées. Il apporte un gain énergétique de 170 MJ/m<sup>2</sup>, soit 51% de réduction de la consommation existante (calculée), pour un investissement de 74% des coûts totaux du scénario 2. Il ne permet pas de satisfaire aux exigences de la norme SIA 380/1.

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

**Scénario P (eRENp):** il intègre le changement des fenêtres, l'isolation extérieure des façades et des dalles de balcon, l'isolation extérieure de l'attique avec de nouveaux caissons de store et l'isolation de la dalle sur rez-de-chaussée. Il apporte un gain énergétique de 281.5 MJ/m<sup>2</sup>, soit 74% de réduction de la consommation existante (calculée), pour un investissement correspondant à 118% des coûts du scénario 2.



Graphique des besoins de chaleur (Q<sub>h</sub>) de l'état existant et des différents scénarios.



Graphique des coûts financiers de chaque scénario.

## CONCLUSION

Ce scénario n'est pas concurrentiel avec le scénario 2: le gain énergétique est négligeable (en dessous de 5% de gains supplémentaires) et les coûts sont plus importants (118% des coûts du scénario 2), ce qui signifie une moindre rentabilité. A noter toutefois la perte de surface des balcons (environ 15%) qui ne contribue pas à rendre leur utilisation plus attractive. L'intervention en attique est peu engageante au vue de la complexité géométrique de la façade existante et au regard de la perte de durabilité qui l'accompagne: une façade en isolation crépie est plus sujette aux sollicitations et à l'usure qu'une façade en béton préfabriqué. Elle a pour seul mérite de limiter l'impact sur les locataires au moment des travaux et de réduire certains ponts thermiques.



Façade en béton préfabriqué de l'attique.



Hall d'entrée.

## STRATÉGIE D'INTERVENTION

La stratégie adoptée est de mettre en œuvre une isolation extérieure crépie d'une épaisseur suffisante pour y intégrer de nouveaux caissons de store et d'intervenir sur la dalle de toiture et les fenêtres. Cette intervention extérieure modifie le caractère architectural en béton apparent du bâtiment existant, diminue la surface des balcons et nécessite la mise en place de mesures pour atténuer les ponts thermiques des dalles de balcon. La hauteur des garages permet de mettre en place une isolation de laine minérale sous les dalles situées contre les logements. Cette mesure améliorerait le confort et diminuerait encore les pertes énergétiques, mais n'a pas

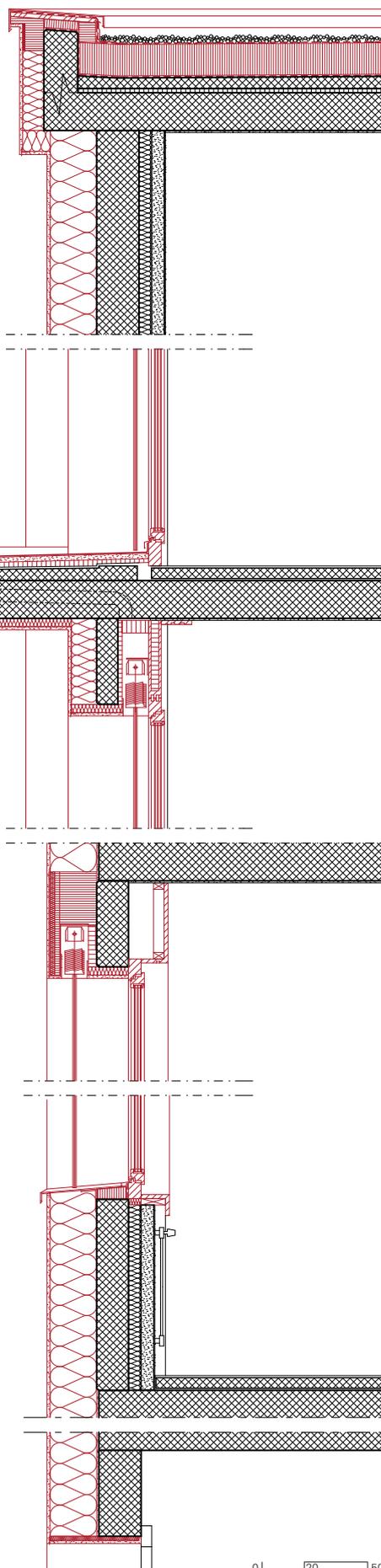
été retenue dans le scénario qui atteignait déjà les exigences de la norme SIA 380/1.

## INTERVENTIONS PAR ÉLÉMENTS

**Murs :** application d'un crépi sur une isolation extérieure en laine minérale incombustible de 220 mm contre les façades. Les façades à l'arrière des balcons sont isolées avec une épaisseur de 120 mm pour réduire la perte de surface. Les embrasures sont isolées avec une isolation de 40 mm de laine minérale.

**Dalle sur sous-sol et combles :** la mise en œuvre de 160 mm d'isolation polystyrène extrudé sur la toiture existante est possible sans devoir rehausser les acrotères. Une isolation de 160 mm a été mise en œuvre sous la dalle du rez-de-chaussée contre les locaux non chauffés. La dalle contre les garages n'est pas isolée. Son isolation permettrait d'atteindre des meilleures performances énergétiques.

**Espaces extérieurs :** les balcons ouverts sont conservés avec une isolation en polystyrène expansé de 40 mm posée sous la dalle et une isolation de 20 mm de polyuréthane mise en œuvre sur la dalle pour atténuer les ponts thermiques. Les garde-corps sont modifiés pour mettre leur hauteur en conformité.

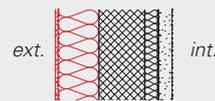


### Mur de façade

U<sub>mes</sub> : 0.46 W/m<sup>2</sup>K

U<sub>cal existant</sub> : 0.45 W/m<sup>2</sup>K

U<sub>cal rénové</sub> : 0.19 W/m<sup>2</sup>K

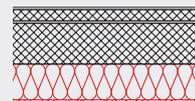


- . Crépi extérieur
- . Isolation 220 mm,  $\lambda = 0.034$  W/mK
- . Enduit ragréage
- . Béton apparent 200 mm
- . Isolation 60 mm,  $\lambda = 0.04$  W/mK
- . Pare-vapeur aluminium
- . Doublement plâtre 60 mm
- . Enduit plâtre ~3 mm

### Dalle sur sous-sol

U<sub>cal existant</sub> : 2.57 W/m<sup>2</sup>K

U<sub>cal rénové</sub> : 0.18 W/m<sup>2</sup>K



- . Parquet
- . Chape ciment ~60 mm
- . Couche séparation
- . Dalle béton armé 180 mm
- . Isolation 160 mm,  $\lambda = 0.034$  W/mK

### Dalle sur garage

U<sub>cal existant</sub> : 2.57 W/m<sup>2</sup>K

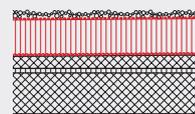


- . Parquet
- . Chape ciment ~60 mm
- . Couche séparation
- . Dalle béton armé 180 mm

### Toiture

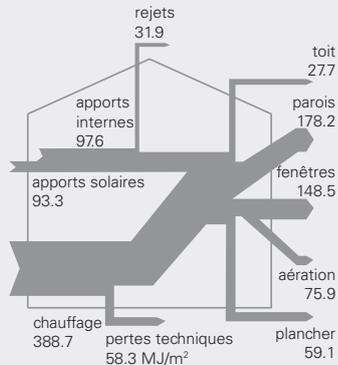
U<sub>cal existant</sub> : 1.0 W/m<sup>2</sup>K

U<sub>cal rénové</sub> : 0.15 W/m<sup>2</sup>K



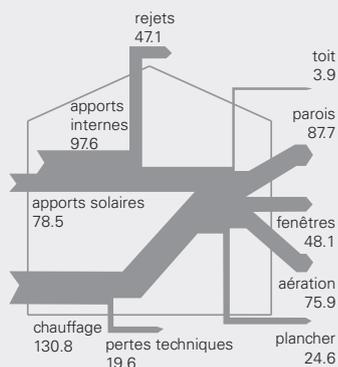
- . Couche de protection
- . Étanchéité
- . Isolation 160 mm,  $\lambda = 0.029$  W/mK
- . Barrière-vapeur
- . Chape ciment 60 mm
- . Couche séparation liège 20-30 mm
- . Dalle béton armé 180 mm
- . Enduit plâtre 7 mm





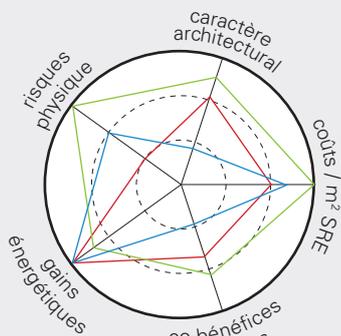
**EXISTANT** Diagramme de Sankey en [MJ/m²]. La valeur limite SIA 380/1 est de 121 MJ/m² et les besoins de chaleur de chauffage ( $Q_H$ ) sont de 330.4 MJ/m².

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



**SCÉNARIO P** Diagramme de Sankey en [MJ/m²]. La valeur limite SIA 380/1 est de 121 MJ/m² et les besoins de chaleur de chauffage ( $Q_H$ ) sont de 111.2 MJ/m².

Part des pertes par les ponts thermiques: 16.7% (si l'on ne tient pas compte des pertes par aération).



— scénario 1  
— scénario 2  
— scénario P

Évaluations des scénarios. Un résultat optimal devrait tendre vers une forme circulaire extérieure, sans point faible évident.

Coût / m² de SRE (T.T.C.):

Scénario 1: 340 CHF

Scénario 2: 800 CHF

Scénario P: 660 CHF

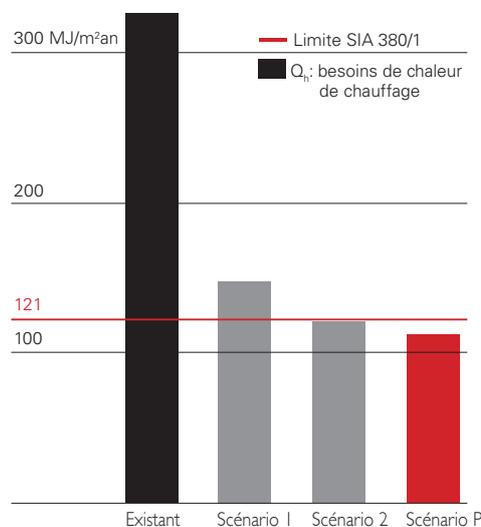


## LES SCÉNARIOS

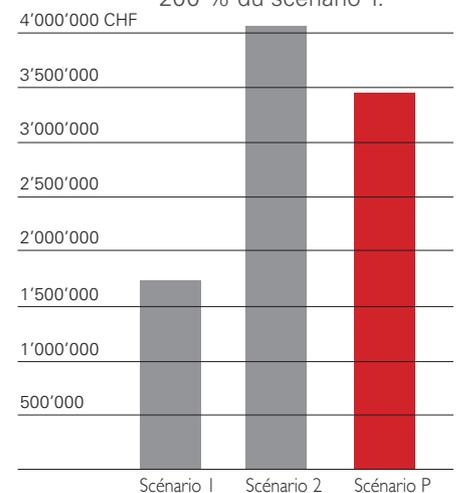
**Scénario 1 (eREN):** il intègre la mise en place de vannes thermostatiques, le remplacement des fenêtres, l'isolation de la toiture et des dalles contre les espaces non chauffés, l'isolation des murs intérieurs contre les espaces non chauffés et l'isolation du volume d'accès à la toiture. Le scénario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

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

**Scénario P (eRENp):** il intègre la mise en place de vannes thermostatiques, l'isolation extérieure des façades, le remplacement des fenêtres, l'isolation de la toiture et l'isolation du volume d'accès à la toiture, l'isolation de la partie de la dalle du rez-de-chaussée contre les locaux non chauffés, l'isolation par-dessus et par-dessous la dalle des balcons. Le scénario atteint la valeur-limite SIA 380/1 de 121 MJ/m². Il apporte un gain énergétique de 219 MJ/m², soit une amélioration de 66 % avec un investissement financier de 85 % du scénario 2, mais de 200 % du scénario 1.



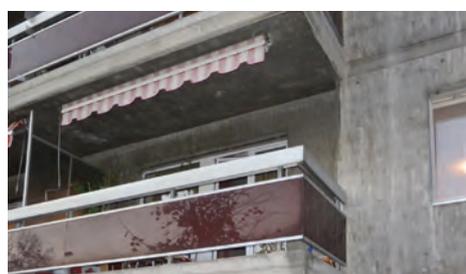
Graphique des besoins de chaleur ( $Q_H$ ) de l'état existant et des différents scénarios.



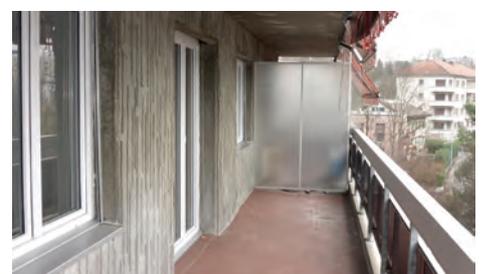
Graphique des coûts financiers de chaque scénario.

## CONCLUSION

Le scénario P atteint des performances énergétiques comparables au scénario 2 avec des coûts réduits (-15%), mais il représente des coûts 2 fois plus élevés que le scénario 1. Comme le scénario 2, l'investissement pour atteindre la valeur limite de la SIA 380/1 est toujours disproportionné. L'isolation extérieure du scénario P réduit sans aucun doute la durée de vie de la façade actuelle en béton structuré. Elle réduit aussi la surface des balcons et par conséquent leur usage. Le scénario à l'avantage de diminuer les risques physiques et les pertes par les ponts thermiques des dalles et des murs par rapport à la solution d'isolation intérieure du scénario 2.



Balcons et raccord des dalles en béton.



Balcons et structure des murs en béton.

## STRATÉGIE D'INTERVENTION

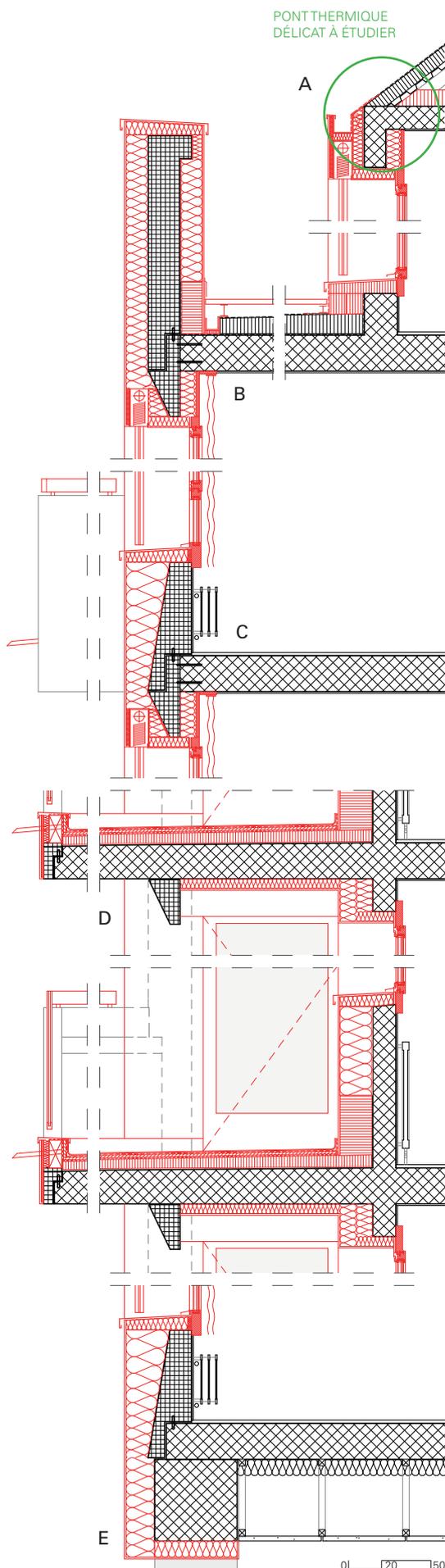
La stratégie adoptée est de mettre en œuvre en façade une isolation extérieure d'une épaisseur variable qui permette d'y inclure de nouveaux caissons de store et de reprendre la géométrie biseautée des éléments en béton préfabriqué. Les loggias, sont isolées au-dessus et au-dessous de la dalle en béton. La toiture et les terrasses d'attiques, ayant récemment fait l'objet d'une rénovation, ne font l'objet d'aucune intervention. L'attique est également isolé à l'extérieur. Finalement, la dalle sur rez-de-chaussée est isolée dans l'espace disponible entre la dalle et le faux-plafond suspendu en laine de bois.

## INTERVENTIONS PAR ÉLÉMENTS

**Murs:** application d'éléments isolants préfabriqués en laine minérale ( $\lambda = 0.04 \text{ W/mK}$ ) et d'un crépi de protection. L'épaisseur varie entre 120 et 260 mm pour s'adapter à la géométrie existante des éléments de façade en béton préfabriqué. Les embrasures sont isolées avec 60-80 mm de laine minérale afin de compléter la continuité thermique avec les cadres bois-métal des fenêtres. L'attique est isolé avec 200 mm de laine minérale ( $\lambda = 0.04 \text{ W/mK}$ ).

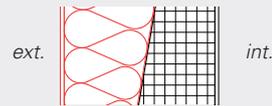
**Dalle sur sous-sol et combles:** la dalle sur rez-de-chaussée étant actuellement isolée avec 10 cm de laine minérale, elle ne fait l'objet d'aucune intervention dans ce scénario. Rénovée récemment, la toiture n'est également concernée par aucune mesure de rénovation.

**Espaces extérieurs:** les balcons loggias du bâtiment, caractéristiques des années 70 sont isolés par-dessus et par-dessous la dalle en béton, avec respectivement 60-80 mm de polystyrène extrudé ( $\lambda = 0.043 \text{ W/mK}$ ), et 60 mm de laine minérale ( $\lambda = 0.04 \text{ W/mK}$ ), minimisant les ponts thermiques à cet endroit. Les garde-corps en béton préfabriqués sont rehaussés d'une main courante métallique afin de répondre aux exigences de sécurité. Une isolation extérieure en laine minérale crépie ( $\lambda = 0.04 \text{ W/mK}$ ) de 200 mm isole les façades donnant sur les balcons-loggias.



### Mur de façade

U<sub>mes</sub>: 1.66 W/m<sup>2</sup>K  
U<sub>cal existant</sub>: 3.59 W/m<sup>2</sup>K  
U<sub>cal rénové</sub>: 0.16 W/m<sup>2</sup>K



- . Crépi
- . Isolation 120-260 mm,  $\lambda = 0.04 \text{ W/mK}$
- . Béton préfabriqué 140-220 mm
- . Enduit

### Mur façade de l'attique

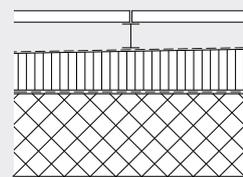
U<sub>cal existant</sub>: 3.23 W/m<sup>2</sup>K  
U<sub>cal rénové</sub>: 0.19 W/m<sup>2</sup>K



- . Crépi
- . Isolation 200 mm,  $\lambda = 0.04 \text{ W/mK}$
- . Béton préfabriqué 200 mm
- . Enduit 5 mm

### Terrasse de l'attique

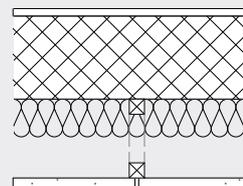
U<sub>mes</sub>: 0.56 W/m<sup>2</sup>K (15%)  
U<sub>cal existant</sub>: 0.22 W/m<sup>2</sup>K



- . Dalles en béton sur taquets
- . Étanchéité
- . Isolation 100-130 mm
- . Étanchéité
- . Dalle béton 220 mm
- . Lissage 10 mm

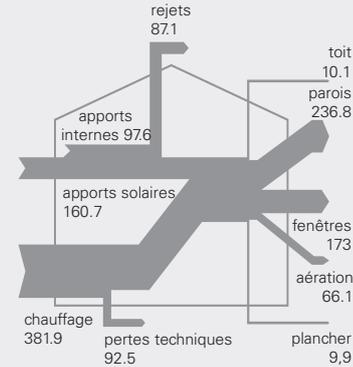
### Dalle contre rez-de-chaussée

U<sub>cal existant</sub>: 0.30 W/m<sup>2</sup>K

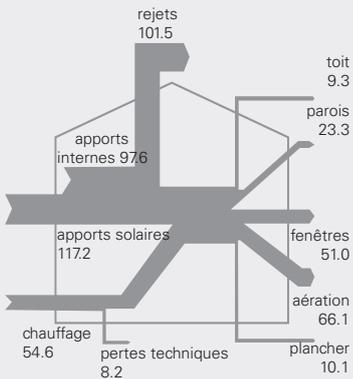


- . Parquet collé 20 mm
- . Dalle béton armé 220 mm
- . Isolation laine minérale 100 mm,  $\lambda = 0.04 \text{ W/mK}$
- . Faux plafond laine de bois 30 mm



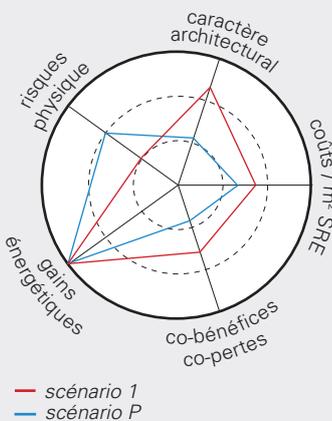


EXISTANT Diagramme de Sankey en [MJ/m²]. La valeur limite SIA 380/1 est de 100 MJ/m² et les besoins chaleur de chauffage ( $Q_h$ ) sont de 324.6 MJ/m².



SCÉNARIO P Diagramme de Sankey en [MJ/m²]. La valeur limite SIA 380/1 est de 98.6 MJ/m² et les besoins de chaleur de chauffage ( $Q_h$ ) sont de 43.1 MJ/m².

Part des pertes par les ponts thermiques : 9.2 % (si l'on ne tient pas compte des pertes par aération).



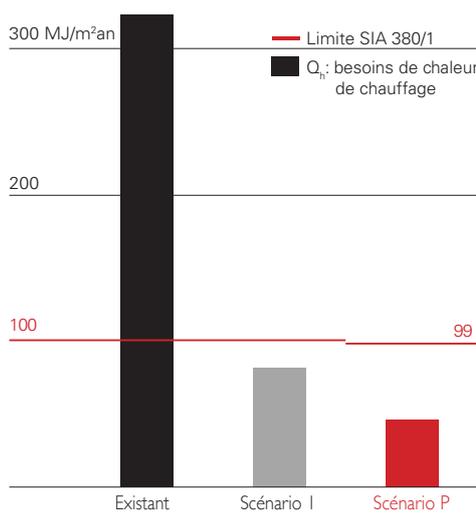
ÉVALUATIONS des scénarios. Un résultat optimal devrait tendre vers une forme circulaire extérieure, sans point faible évident.

Coût / m² de SRE (T.T.C.):  
Scénario 1: 925 CHF  
Scénario P: 865 CHF

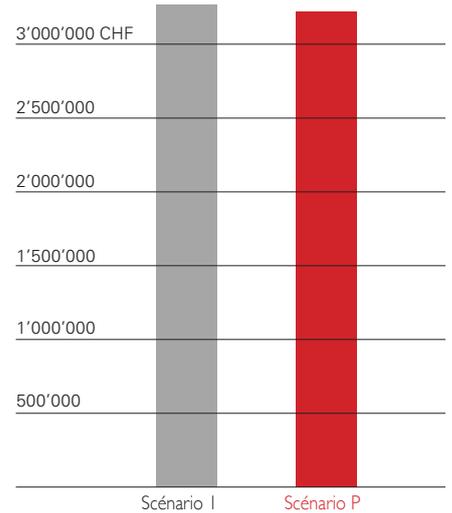
## LES SCÉNARIOS

**Scénario 1 (eREN):** il intègre l'isolation par l'intérieur des deux façades par les éléments préfabriqués en bois, l'isolation sous la dalle du premier étage, le remplacement des fenêtres d'origine, l'isolation des plafonds de l'étage sous la terrasse de l'attique, ainsi que les différents retours d'isolation pour permettre d'atteindre la valeur-limite. Il apporte un gain énergétique de 242.9 MJ/m², soit une diminution de 75% par rapport à la consommation existante (calculée).

**Scénario P (eRENp):** il intègre le changement des fenêtres, l'isolation par l'extérieur des façades avec de nouveaux caissons de store, l'isolation par l'extérieur de l'attique, l'isolation des dalles de balcon-loggia. Il apporte un gain énergétique de 281.5 MJ/m², soit une diminution de 87% par rapport à la consommation existante (calculée), pour un investissement correspondant à 98% des coûts du scénario 1.



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



Graphique des coûts financiers de chaque scénario.

## CONCLUSION (AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS)

Le scénario périphérique interroge véritablement la question de l'expression architecturale du bâtiment car le changement de façade est radical : d'une façade travaillée qui joue des effets d'ombres et de lumières de par sa géométrie et sa matérialité (béton préfabriqué balayé), le scénario propose une façade plate et uniforme qui détruit complètement l'expression originelle du bâtiment et qui réduit la durabilité de la façade. Les coûts sont comparables (2% de différence par rapport au scénario 1) et si le gain énergétique entre les scénarios 1 et périphérique paraît appréciable (env. 39 MJ/m²) il ne représente que 12% de la consommation existante (autrement dit, le scénario 1 permet déjà de réaliser 88% du potentiel d'économie du scénario périphérique). L'intervention est intéressante dans la mesure où elle peut se faire en présence des locataires et n'entraîne pas de diminution de la surface pour le locataire, en dehors de celle des loggias, mais qui reste admissible (en-dessous de 8% de perte).



Détail sur la façade et sur le balcon-loggia.



Rez-de-chaussée.

## STRATÉGIE D'INTERVENTION

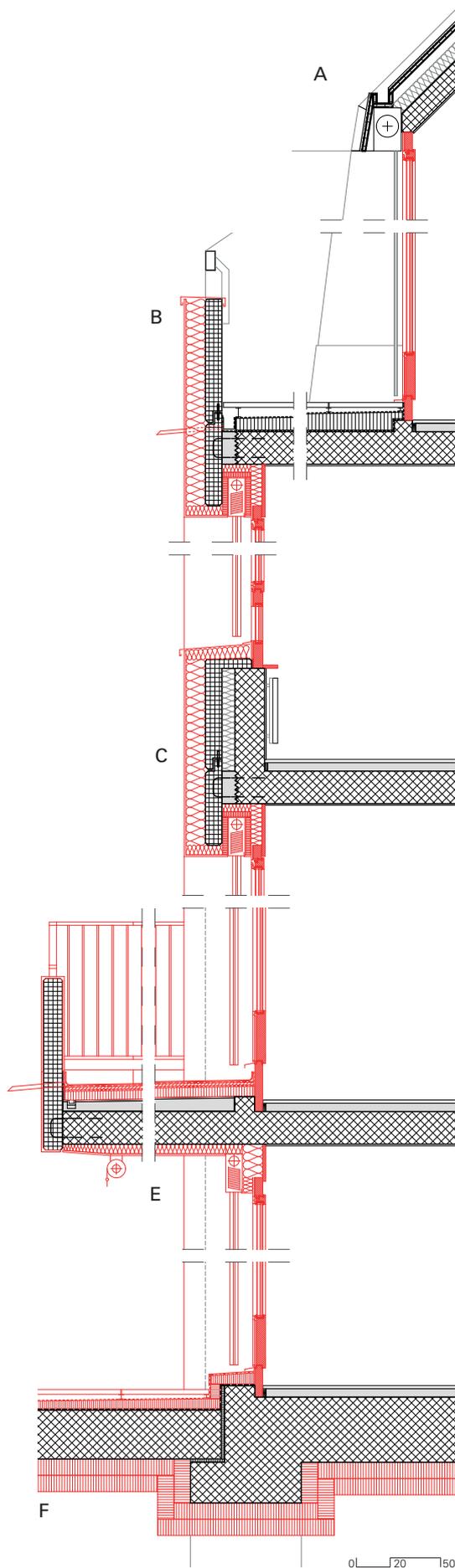
La stratégie adoptée est de mettre en œuvre une isolation extérieure d'une épaisseur suffisante pour répondre aux exigences ponctuelles édictées par la norme SIA 380/1. Les fenêtres et les stores existants sont changés. Des interventions sur les embrasures de fenêtre, les dalles des balcons-loggias et le plafond du sous-sol complètent ce scénario de rénovation. Les terrasses de l'attique ainsi que la toiture ne sont pas rénovées car étant en bon état et déjà isolées (8 à 10cm), le gain énergétique potentiel ne justifie pas les coûts que représenteraient une reconstruction.

## INTERVENTIONS PAR ÉLÉMENTS

**Murs:** mise en œuvre d'une isolation de type laine minérale ( $\lambda = 0.04$  W/mK) de 120 mm contre les façades existantes en béton préfabriqué. La nouvelle fenêtre ainsi que le nouveau store sont logés au même endroit que dans la façade existante, permettant de conserver l'expression d'embrasure marquée.

**Dalle sur sous-sol et combles:** l'intervention propose une isolation sous la dalle du rez-de-chaussée par 200 mm de polystyrène expansé. Etant en très bon état et déjà isolées, les terrasses de l'attique ainsi que la toiture ne font l'objet d'aucune intervention.

**Espaces extérieurs:** les balcons loggias du bâtiment sont isolés par-dessus et par-dessous la dalle en béton, avec respectivement 60 mm de polystyrène extrudé ( $\lambda = 0.043$  W/mK) et 60 mm de laine minérale crépie ( $\lambda = 0.04$  W/mK). Les garde-corps en béton préfabriqués et en verre sont rehaussés afin de répondre aux exigences de sécurité. Les façades des balcons, afin de toujours offrir un espace extérieur de qualité, sont isolées avec 60 mm de laine minérale ( $\lambda = 0.04$  W/mK). Les parties non-isolées (muret et têtes de balcons) sont crépis afin de conserver une nouvelle expression uniforme sur tout le bâtiment.



### Mur de façade

U<sub>mes</sub>: 0.43 W/m<sup>2</sup>K

U<sub>cal existant</sub>: 0.43 W/m<sup>2</sup>K

U<sub>cal rénové</sub>: 0.19 W/m<sup>2</sup>K



#### . Crépi

. Isolation 120 mm,  $\lambda = 0.04$  W/mK

. Béton préfabriqué 100 mm

. Isolation 80 mm

. Mur béton armé 180 mm

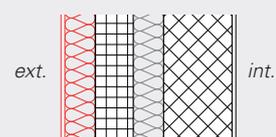
. Lissage plâtre 10 mm

### Mur de façade balcon-loggia

U<sub>mes</sub>: 0.43 W/m<sup>2</sup>K

U<sub>cal existant</sub>: 0.43 W/m<sup>2</sup>K

U<sub>cal rénové</sub>: 0.19 W/m<sup>2</sup>K



#### . Crépi

. Isolation 60 mm,  $\lambda = 0.04$  W/mK

. Béton préfabriqué 100 mm

. Isolation 80 mm

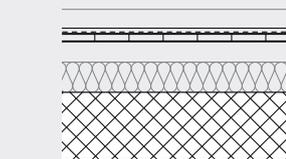
. Mur béton armé 180 mm

. Lissage plâtre 10 mm

### Toiture

U<sub>mes</sub>: 0.41 W/m<sup>2</sup>K

U<sub>cal existant</sub>: 0.39 W/m<sup>2</sup>K



#### . Couverture cuivre

. Lambrissage 20 mm

. Lattage (ventilation) 60 mm

. Isolation 80 mm

. Barrière-vapeur

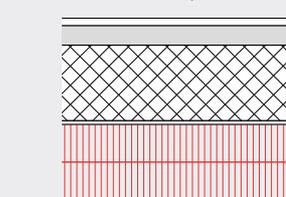
. Dalle béton armé 180 mm

. Lissage plâtre 10 mm

### Dalle rez-de-chaussée

U<sub>cal existant</sub>: 2.18 W/m<sup>2</sup>K

U<sub>cal rénové</sub>: 0.17 W/m<sup>2</sup>K



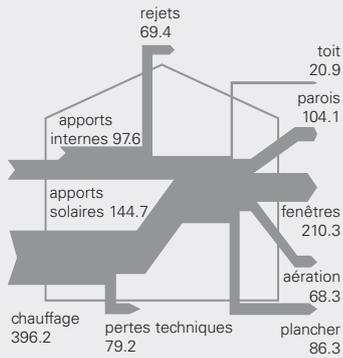
#### . Carrelage 10 mm

. Chape 60 mm

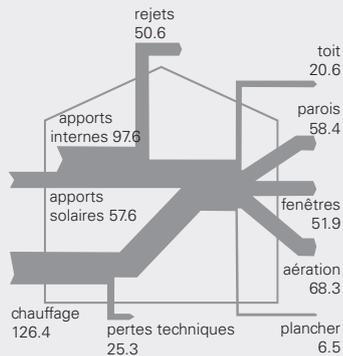
. Dalle béton 200 mm

. Isolation 200 mm,  $\lambda = 0.036$  W/mK



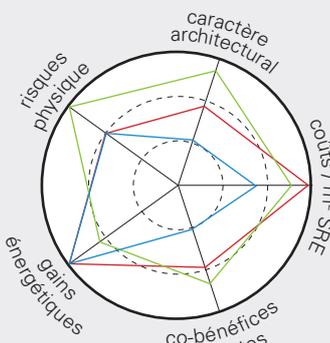


**EXISTANT** Diagramme de Sankey en [MJ/m²]. La valeur limite SIA 380/1 est de 116.1 MJ/m² et les besoins chaleur de chauffage ( $Q_{tr}$ ) sont de 317.0 MJ/m².



**SCÉNARIO P** Diagramme de Sankey en [MJ/m²]. La valeur limite SIA 380/1 est de 117.2 MJ/m² et les besoins de chaleur de chauffage ( $Q_{tr}$ ) sont de 101.1 MJ/m².

Part des pertes par les ponts thermiques : 22.8 % (si l'on ne tient pas compte des pertes par aération).



— scénario 1  
— scénario 2  
— scénario P

**ÉVALUATIONS des scénarios.** Un résultat optimal devrait tendre vers une forme circulaire extérieure, sans point faible évident.

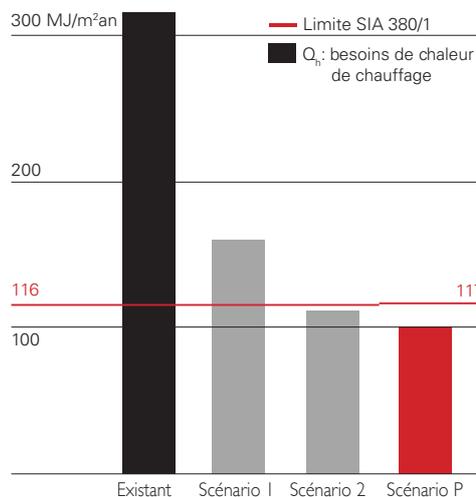
**Coût / m² de SRE (T.T.C.):**  
Scénario 1: 580 CHF  
Scénario 2: 520 CHF  
Scénario P: 870 CHF

## LES SCÉNARIOS

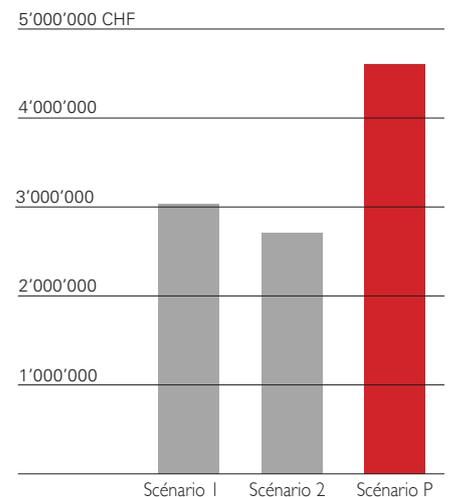
**Scénario 1 (eREN):** il intègre le remplacement des verres existants par de nouveaux verres isolants doubles, l'isolation de la dalle sur sous-sol. Il apporte un gain énergétique insuffisant de 156 MJ/m², soit 49% de réduction de la consommation existante (calculée), pour un investissement représentant 112% des coûts totaux du scénario 2. En plus de son coût élevé, il est difficile à mettre en œuvre.

**Scénario 2 (eREN):** il intègre la fermeture des balcons en façade sud, le remplacement de toutes les autres fenêtres, l'isolation de la dalle et des murs contre sous-sol pour permettre d'atteindre la valeur-limite. Il apporte un gain énergétique de 205 MJ/m², soit 65% de réduction de la consommation de l'état existant (calculé), ce qui satisfait à la norme.

**Scénario P (eREN P):** il intègre le changement de toutes les fenêtres et leurs stores, l'isolation extérieure des façades, l'isolation des dalles de balcon et de la dalle sur sous-sol. Il apporte un gain énergétique de 215.9 MJ/m², soit 68% de réduction de la consommation de l'état existant (calculé), ce qui satisfait à la norme, pour un investissement représentant 170% des coûts du scénario 2.



Graphique des besoins de chaleur ( $Q_{tr}$ ) de l'état existant et des différents scénarios.



Graphique des coûts financiers de chaque scénario.

## CONCLUSION

Dans le cas de ce bâtiment, l'intervention avec une isolation périphérique crépie est très peu engageante. Le gain énergétique par rapport au scénario 2 est négligeable (3% de gain supplémentaire par rapport à l'état existant) et les coûts explosent (170% des coûts du scénario 2). Sur un bâtiment déjà isolé, en effet le ratio entre le gain énergétique potentiel et les coûts à engager est très défavorable, et s'accroît dans ce cas de par la complexité géométrique de la façade existante et la présence marquée des balcons sur toutes les façades. L'intervention proposée a ceci comme avantage qu'elle permet des travaux en présence des locataires et sans perte de surface locative, en dehors de celle des balcons mais qui reste peu importante au regard de leur grande surface. A noter finalement que cette intervention induit une perte en durabilité et solidité de la façade.



Façades est et sud.



Attique et toiture.