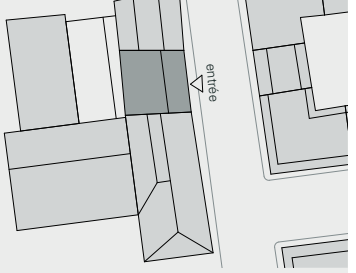
CARACTÉRISTIQUES

Ce bâtiment est très représentatif des immeubles genevois des années fin 1800, début 1900. Il est situé au centre-ville de Genève, en contiguïté avec un immeuble de logements et un théâtre. Le rez-de-chaussée accueille des surfaces commerciales, alors que les cinq étages sont consacrés au logement. La toiture en pente asymétrique abrite encore deux niveaux de combles, également habités. Caractéristique des immeubles de son époque, ce bâtiment présente deux façades d'aspect différent sur rue et sur cour : la façade sur rue est richement décorée (revêtement en pierre naturelle, balcons sur consoles, corniches et moulures) alors que la façade sur cour est beaucoup plus sobre et dépouillée (seuls des encadrements en pierre calcaire soulignent le contour des fenêtres, pour le reste, la façade est simplement crépie).
La structure du bâtiment est simple : les façades ainsi qu'un massif porteur au centre du bâtiment soutiennent un plancher traditionnel à solivage en bois. Datant du début du XX^{e} siècle, ce bâtiment a déjà subi de nombreuses interventions successives (installations sanitaires et cuisines, réaménagement des combles, toiture, chauffage, etc.) qui n'ont pourtant pas porté préjudice à l'apparence globale de l'ouvrage.





Situation 1: 2'000 0 5 20

Année de construction	1901
Surface bâtie [m²]	285
Nombre de logements	18
Surface référence énergétique (SRE) [m²]	2'072
Surface d'enveloppe développée [m²]	1'406
Facteur de forme	0.81
Consommation moyenne d'énergie [kWh/an]	222'344
Besoins de chauffage « relevé » [MJ/m²]	243
Besoins de chauffage « calculé » [MJ/m²]	285
Production de chaleur	Chaudière à gaz
Distribution de chaleur	Radiateur avec vannes thermostatiques

toiture
en pente, couverture en tuiles terre cuite et cuivre, isolée

mur de refend
pierre calcaire massive

espaces extérieurs
balcons linéaires ou ponctuels, posés sur consoles en pierre massive

éléments décoratifs
pierre calcaire

fenêtres
cadres en bois, simple vitrage

dalle d'étage
plancher bois

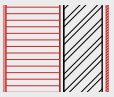
corniche
pierre calcaire

façade rez-de-chaussée
vitrines cadres métalliques, double vitrage

dalle sur sous-sol
dalle à hourdis

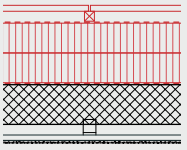
Extrait de la façade est.

Mur de façade ouest (cour)
Umes : 1.30 W/m²K (15%)
Ucal existant : 0.93 W/m²K
Ucal rénové : 0.12 W/m²K



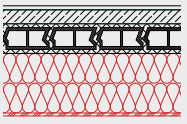
. Isolation 270 mm
. Mur moellons
. Lattage
. Panneau de bois

Toiture commerce
Ucal existant: 0.6 W/m²K
Ucal rénové: 0.1 W/m²K



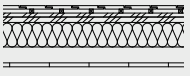
. Revêtement
. Étanchéité
. Isolation 300 mm
. Barrière-vapeur
. Dalle béton
. Plafond suspendu

Dalle rez-de-chaussée
Ucal existant: 1.78 W/m²K
Ucal rénové: 0.11 W/m²K



. Carrelage sur chape
. Dalle à hourdis
. Isolation 300 mm

Toiture
Ucal existant: 0.5 W/m²K



. Tuiles terre cuite
. Lattage et contre-lattage
. Isolation et pare-vapeur
. Lattage et lambris

Fenêtres est (sur rue)
Uverre existant: 6 W/m²K
Ucadre existant: 3 W/m²K
g existant: 0.92
Uverre rénové: 1.1 W/m²K
Ucadre rénové: 3.0 W/m²K
g rénové: 0.6

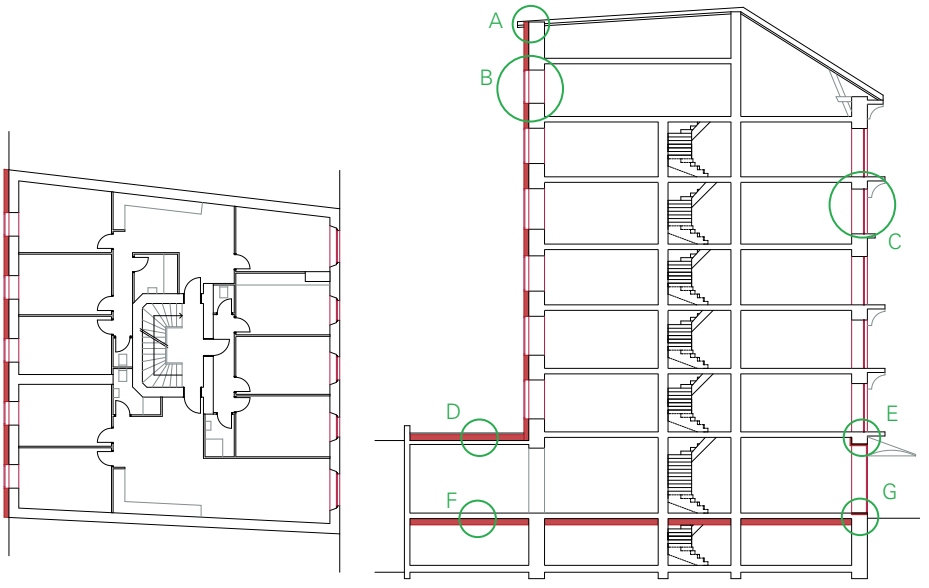
. Cadres bois (chêne)
. Verre simple
. Cadres bois (chêne)
. Verre isolant double

Fenêtres ouest (sur cour)
existantes, idem que celles sur rue
Uverre rénové: 0.6 W/m²K
Ucadre rénové: 1.2 W/m²K
g rénové: 0.45

. Cadres bois (chêne)
. Cadres bois-métal
. Verre isolant triple

STRATÉGIE D'INTERVENTION

L'intervention proposée tient compte des spécificités architecturales des deux façades, en particulier du caractère patrimonial de la façade sur rue qui doit être préservé, alors que la façade sur cour ne présente pas d'intérêt particulier. C'est pourquoi on a opté pour une stratégie d'intervention très différente des deux côtés : en façade sur rue, seules les fenêtres feront l'objet d'un assainissement (sur-cadre et mise en place d'un verre isolant double en conservant les menuiseries d'origine) alors que l'intervention sera plus importante côté cour, à titre de compensation (pose d'une isolation périphérique et remplacement des fenêtres). La dalle du rez-de-chaussée est isolée par en-dessous pour assurer la continuité de l'enveloppe thermique. La toiture du bâtiment, récemment assainie, ne subit aucun changement, au contraire de la toiture plate de la cour qui est isolée. Finalement, la partie du pignon sud en contact avec l'extérieur est isolée périphériquement.



Plan et coupe schématiques. En rouge, les éléments de l'enveloppe isolés dans le scénario d'intervention n°1. En vert, les raccords caractéristiques du bâtiment.

INTERVENTIONS PAR ÉLÉMENTS

Façade ouest (cour) : elle constitue le point principal d'intervention, en compensation des mesures légères mises en œuvre sur la façade est (rue) : pose d'une isolation périphérique crépie, remplacement des fenêtres. Les volets sont remplacés par des stores.

Façade est (rue) : mise en place d'un sur-cadre et d'un verre isolant double.

Toiture magasin : il est prévu d'assainir la toiture plate de la cour. Un nouveau complexe d'isolation et d'étanchéité est mis en œuvre, ainsi que le remplacement complet des verrières. Cette intervention doit se faire en prenant garde aux épaisseurs d'isolants qui modifient les hauteurs d'éléments tels les seuils de porte.

Toiture : la toiture du bâtiment, pour partie en tuiles et partie en cuivre ne présente que peu de signes de vétusté (assainissement et isolation fait récemment) et ne fait l'objet d'aucune intervention.

Pignon sud : la partie du pignon sud, non contigüe au bâtiment voisin, est isolée par l'extérieur.


Façade ouest sur cour


Toiture des commerces


Toiture du bâtiment

DÉTAILS

A En façade ouest (sur cour), il est prévu de mettre en place une isolation de type EPS, directement sur la façade existante. Sur cette nouvelle isolation prend place un crépi clair qui permet à la façade de conserver son caractère d'origine.

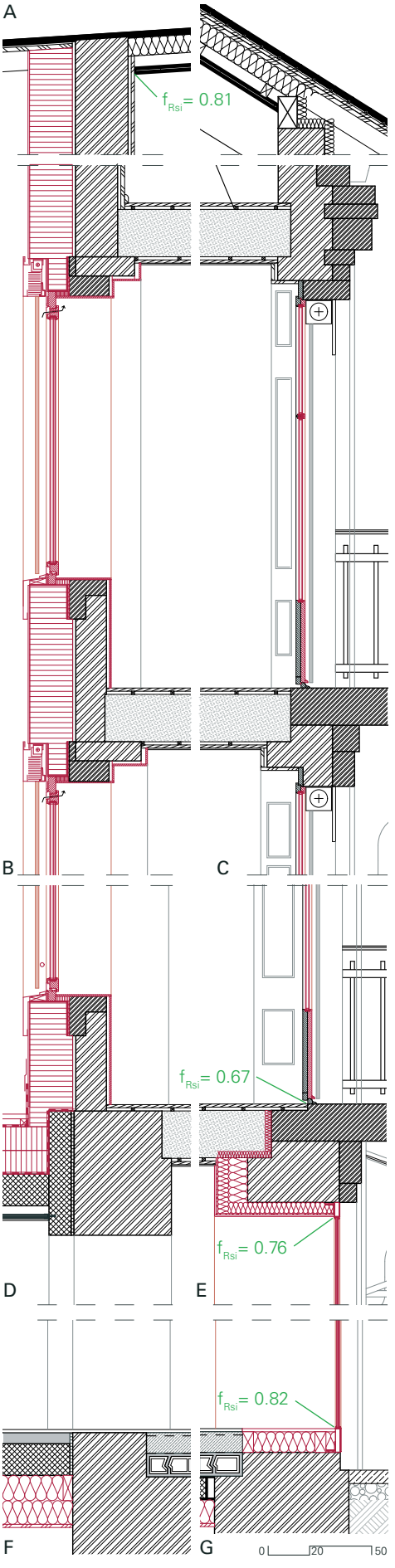
B Les anciennes fenêtres en bois, de même que les boiseries intérieures sont déposées afin de permettre la mise en place de nouvelles fenêtres à cadres bois-métal, verre isolant triple. Une grille hygroréglable permet de gérer le renouvellement d'air réduit par la nouvelle enveloppe plus étanche. Une fois les fenêtres posées, les boiseries intérieures sont reconstituées. Les anciens encadrements en pierre calcaire sont réinterprétés en tôle aluminium thermolaquée.

C En façade est (sur rue), l'intervention propose de préserver au mieux ses qualités architecturales et décoratives. On ajoute aux cadres de fenêtres d'origine en chêne un sur-cadre de la même essence qui permet de remplacer le verre simple existant par un verre isolant double. Les ferrures devraient être changées si elles ne supportent pas le nouveau poids de la fenêtre. Seule l'épaisseur totale du cadre est modifiée, les autres caractéristiques de la fenêtre et de la façade sont conservées. Une solution alternative consistant à mettre en place un vitrage sous vide hautement performant aurait également permis de conserver les cadres existants.

D La proposition d'intervention prévoit l'assainissement complet de la toiture plate sur les commerces dans la cour intérieure car elle représente un poste important en terme de perte énergétique. La dalle est mise à nu et un nouveau complexe d'isolation et d'étanchéité bitumineuse est mis en œuvre sur la dalle. Les verrières désuètes sont remplacées. Une attention particulière est portée à la hauteur des seuils de portes et des garde-corps.

E-G Au rez-de-chaussée, de nouvelles vitrines commerciales à verre isolant triple prennent place dans une embrasure augmentée par la suppression du muret en pierre existant.

F Le plafond de la dalle à hourdis sur sous-sol est isolé par 30 centimètres d'isolation de polystyrène expansé. Des retours d'isolation sont prévus à la rencontre des murs porteurs ou des cloisons.



Toiture
. Couverture cuivre
. Lambrissage de support 20 mm
. Isolation entre chevrons 120 mm
. Lattage 80 mm
. Lambris de finition 20 mm

Façade ouest (cour)
. Crépi minéral (teinte claire), 10 mm
. Isolation polystyrène expansé, λ = 0.036 W/mK, 270 mm
. Crépi minéral 10 mm
. Mur à moellons 450-650 mm
. Lattage de support 40 mm
. Panneau de bois de finition 25 mm

Façade pignon (sud)
. Crépi minéral (teinte claire), 10 mm
. Isolation polystyrène expansé, λ = 0.036 W/mK, 100 mm
. Crépi minéral 10 mm
. Mur à moellons 450-650 mm
. Lattage de support 40 mm
. Panneau de bois de finition 25 mm

Façade est (rue)
. Revêtement pierre calcaire 140 mm
. Mur à moellons 450-650 mm
. Lattage de support 40 mm
. Panneau bois de finition 25 mm

Plancher étage courant
. Parquet 20 mm
. Lattage 20 mm
. Chaille entre solivage 300 mm
. Lattage 20 mm
. Lattis bois plâtre 20 mm
. Enduit de finition 10 mm

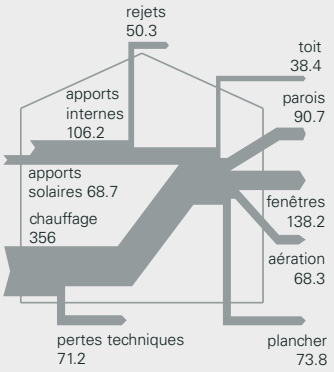
Toiture commerces
. Dallettes béton sur taquets 30 mm
. Etanchéité bitumineuse multicouche
. Isolation polystyrène extrudé, λ = 0.33 W/mK, 300 mm
. Barrière-vapeur
. Dalle béton 200 mm
. Plafond suspendu 20 mm
. Enduit de finition 10 mm

Linteau dans zone commerciale
. Revêtement pierre calcaire 140 mm
. Mur à moellons 400 mm
. Isolation laine minérale, λ = 0.04 W/mK, 190 mm entre lattage
. Pare-vapeur
. Panneau de plâtre gypsé 30 mm

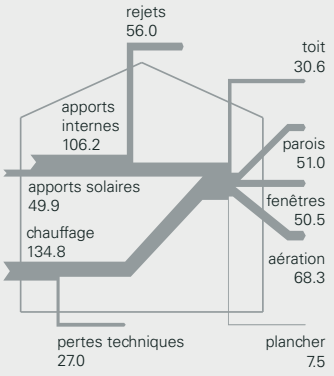
Dalle du rez-de-chaussée (partie sous la cour)
. Carrelage 10 mm
. Chape ciment 70 mm
. Dalle béton armé 200 mm
. Isolation laine minérale entre ossature bois, λ = 0.36 W/mK, 300 mm
. Panneau de bois 10 mm

Dalle du rez-de-chaussée
. Carrelage 10 mm
. Chape ciment 70 mm
. Dalle à hourdis pierre 210 mm
. Isolation laine minérale entre ossature bois, λ = 0.36 W/mK, 300 mm
. Panneau de bois 10 mm

Extrait des coupes façade rue et cour présentant les propositions d'intervention du scénario 1.

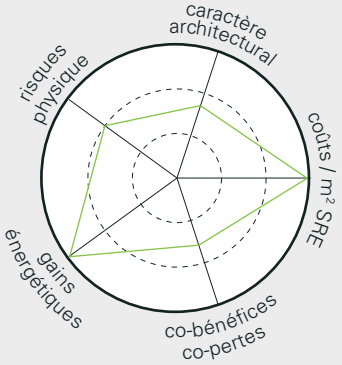


EXISTANT Diagramme de Sankey en [MJ/m²]. La valeur limite SIA 380/1 est de 112.8 MJ/m² et les besoins de chauffage sont de 284.8 MJ/m².



SCÉNARIO 1 Diagramme de Sankey en [MJ/m²]. La valeur limite SIA 380/1 est de 112.8 MJ/m² et les besoins de chauffage sont de 107.9 MJ/m².

Part des pertes par les ponts thermiques: 8.7 % (si l'on ne tient pas compte des pertes par aération).



scénario 1

ÉVALUATION du scénario. Un résultat optimal devrait tendre vers une forme circulaire extérieure, sans point faible évident.

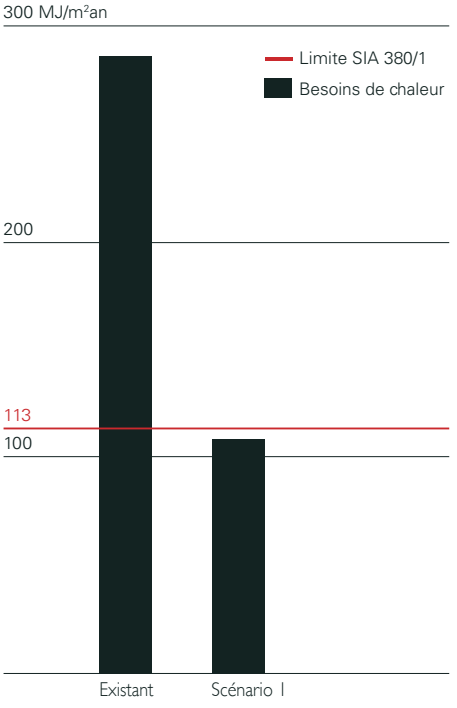
Coûts totaux (T.T.C.):
Scénario 1: 1'155'000 CHF

Coût / m² de SRE (T.T.C.):
Scénario 1: 555 CHF

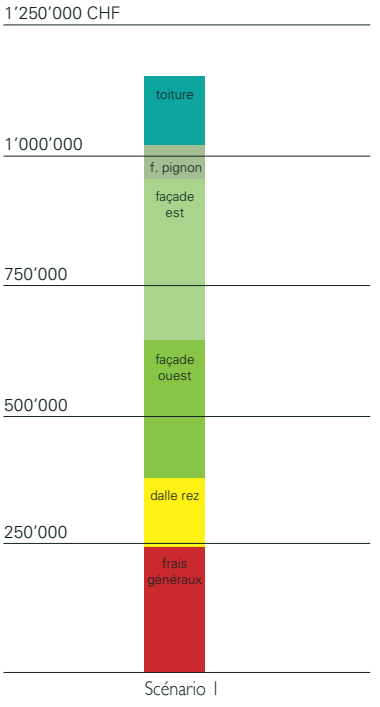
Coût / m² d'éléments (T.T.C.):
Toiture: 1'130 CHF
Façades et fenêtres: 825 CHF
Dalle sur espace non-chauffé: 330 CHF

LE SCÉNARIO

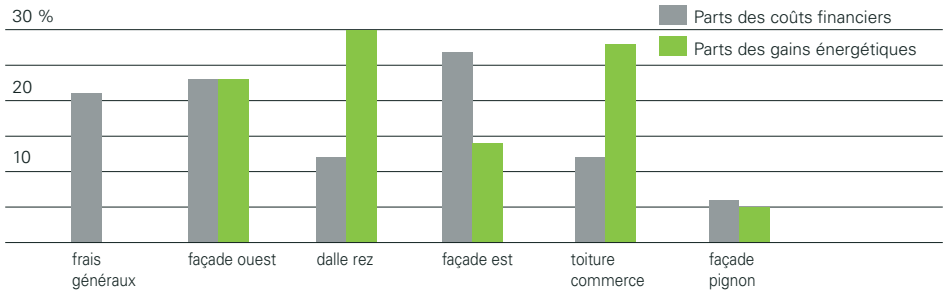
Scénario 1: il intègre l'isolation périphérique et le remplacement des fenêtres en façade ouest, le doublage des cadres de fenêtres en façade est et l'ajout d'un verre isolant double, l'isolation sous dalle du rez-de-chaussée et enfin l'assainissement complet de la toiture de la cour et le remplacement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



Graphique des besoins de chaleur de l'état existant et du scénario.



Graphique des coûts financiers du scénario répartis par éléments.



Graphique représentant la part des coûts et les gains énergétiques par mesure d'intervention pour le scénario 1.

CONCLUSION

Les caractéristiques architecturales et décoratives de la façade sur rue peuvent être maintenues (le remplacement du verre simple par un verre isolant double n'implique que l'épaississement des cadres ainsi que la perte des «vibrations» provoquées par les irrégularités des verres anciens). La stratégie globale d'intervention offre une continuité d'approche avec l'architecture même de ce type d'immeubles bourgeois du XIX[e] et début XX[e] siècle qui différenciait nettement le traitement des deux façades sur rue et sur cour. Dans le cas présent, on note toutefois une difficulté de mise en oeuvre des mesures d'isolation du pignon sud, liée à la géométrie tourmentée des raccords au théâtre voisin.

CARACTÉRISTIQUES

L'immeuble, implanté au centre-ville de Lausanne, termine un ensemble de quatre bâtiments accolés en forme de U. Il est recensé (note 3), mais pas protégé. L'immeuble d'angle comporte un appendice saillant qui tient de l'oriel. Assis sur un socle de maçonnerie en moellons ébauchés, il s'élève sur cinq étages. Au cinquième étage, la toiture à la Mansart accueille trois appartements. Du côté de la rue principale, le langage architectural classique est à la fois sobre et décoré. Les ouvertures sont composées d'encadrements en pierre naturelle, parfois reliées verticalement pour rythmer la façade. Du côté cour, l'expression architecturale apparaît plus simple et dépouillée. Les fenêtres à caisson d'origine avec leurs cadres en bois et leurs verres simples sont encore présentes dans quelques appartements. Le travail sur les embrasures intérieures en bois démontre un soin du détail. Des volets en bois permettent d'obscurcir les ouvertures de taille modeste. Les façades monolithiques sont construites en maçonnerie de moellons crépie et leur épaisseur varie de 50 à 60 centimètres selon les étages. Ses balcons en saillie animent les façades nord et est. Leur dalle en ciment est posée sur des consoles moulurées en pierre naturelle. Des fers forgés servent de garde-corps. La dalle sur sous-sol en ciment est composée de poutres nervurées tandis que les planchers des étages et des combles sont construits avec des poutres en bois enchâssées dans les façades et reposant sur un mur de refend.



Situation 1: 2'000 0 5 20

Année de construction	1910
Surface bâtie [m²]	258
Nombre de logements	17
Surface référence énergétique (SRE) [m²]	1'563
Surface d'enveloppe développée [m²]	1'659
Facteur de forme	0.99
Consommation moyenne d'énergie [KWh/an]	241'800
Besoins de chauffage «relevé» [MJ/(m²an)]	370
Besoins de chauffage «calculé» [MJ/(m²an)]	426
Production de chaleur	Chaudière à mazout
Distribution de chaleur	Radiateurs sans vannes thermostatiques



toiture
mansardée, en tuiles

balustrade
fer forgé

protection solaire
volets en bois

balcons
dalle béton posée sur des consoles en pierre naturelle

embrasure
pierre naturelle

dalle d'étage
plancher avec poutres en bois

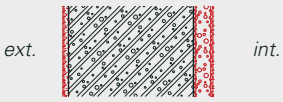
fenêtre
cadre bois, fenêtre avec contre-fenêtre

mur de façade
maçonnerie de moellons crépie de 50 à 60 cm d'épaisseur diminuant avec l'élévation des étages

socle
maçonnerie de moellons apparents

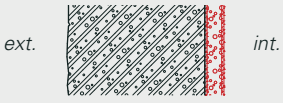
Extrait de la façade est.

Mur de façade
Umes : 1.75 W/m²K (±14%)
Ucal existant : 1.70 W/m²K
Ucal rénové sc. 1: 0.74 W/m²K
Ucal rénové sc. 2: 0.41 W/m²K



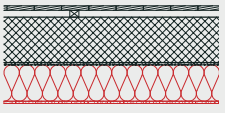
. Crépi isolant minéral 20 mm
. Maçonnerie de moellons 550 mm
. Isolation 60 mm

Mur de façade socle
Ucal existant: 1.55 W/m²K
Ucal rénové: 0.46 W/m²K



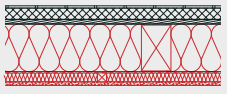
. Maçonnerie de moellons 600 mm
. Isolation 60 mm

Dalle sur sous-sol
Ucal existant: 1.35 W/m²K
Ucal rénové: 0.18 W/m²K



. Revêtement de sol 20 mm
. Lattage 30 mm
. Ciment armé 200 mm
. Isolation 160 mm

Toiture, dalle des combles
Ucal existant: 0.98 W/m²K
Ucal rénové: 0.18 W/m²K



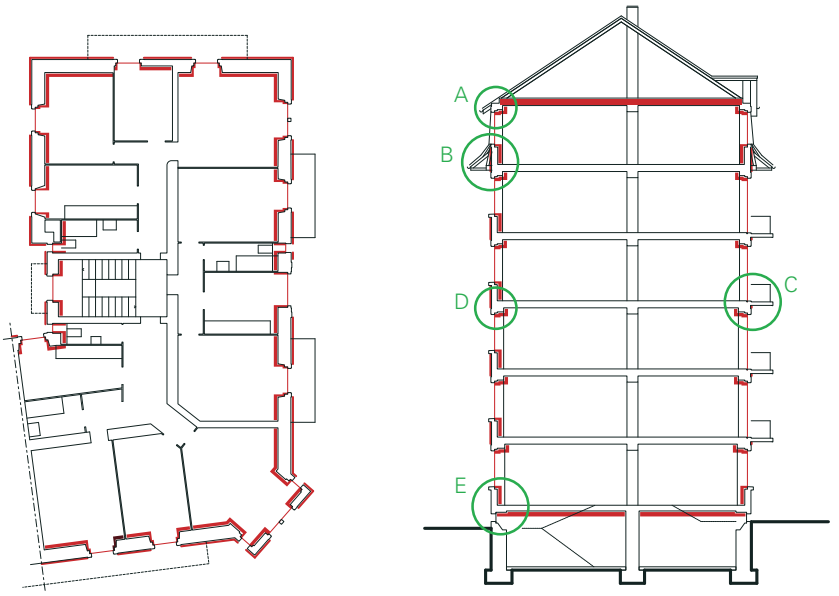
. Revêtement de sol 12 mm
. Sous-couche en ciment 50 mm
. Planchéiage 20 mm
. Poutraison 210 mm
. Isolation 210 mm + 40 mm
. Pare-vapeur

Fenêtres
Ug existant: 1.1 W/m²K
Uf existant: 1.65 W/m²K
g existant: 0.55
Ug rénové: 0.6 W/m²K
Uf rénové: 1.1 W/m²K
g rénové: 0.67

. Cadre rénové en PVC ou d'origine en bois
. Verre isolant double rénové ou fenêtres à caisson avec verre simple d'origine
. Cadre en bois
. Verre isolant triple

STRATÉGIE D'INTERVENTION

La stratégie d'intervention privilégie une intervention à l'intérieur afin de conserver le caractère du bâtiment avec ses embrasures en pierre et son socle de moellons apparents. De plus, les nombreux éléments de décor qui structurent la façade rendent complexe l'application d'une isolation extérieure. Le remplacement du crépi extérieur par un crépi isolant ainsi que l'isolation de la dalle sur sous-sol et celle des combles se sont avérés insuffisants du point de vue énergétique. La construction en moellons et les planchers en bois rendent l'intervention par l'intérieur complexe, tant du point de vue de la physique du bâtiment que de l'exécution de l'étanchéité à l'air. C'est pourquoi une isolation minérale intérieure minimale, ouverte à la diffusion de vapeur, est mise en œuvre.



Plan et coupe schématiques. En rouge, les éléments de l'enveloppe isolés dans le scénario d'intervention n°2. En vert, les raccords caractéristiques du bâtiment.

INTERVENTIONS PAR ÉLÉMENTS

Murs : le crépi existant est remplacé par un crépi isolant minéral de 20 mm afin de conserver les embrasures en pierre. Pour atteindre la valeur-limite de la norme SIA 380/1, un panneau d'isolant minéral de 60 mm ouvert à la diffusion de vapeur constitué de sable, de calcaire, de ciment et d'eau est mis en place à l'intérieur.

Dalle sur sous-sol et combles : une isolation de 160 mm en laine minérale est placée sous la dalle sur sous-sol dans les caves et la buanderie. Le plancher des combles est isolé entre les solives lors des travaux effectués dans les appartements de l'étage mansardé.

Les fenêtres : la majorité des fenêtres à caisson d'origines ont déjà été remplacées par des fenêtres avec cadre PVC et verre isolant double, toutes les fenêtres sont remplacées par de nouvelles fenêtres avec un cadre bois et un verre isolant triple. Les embrasures intérieures en bois sont démontées et ajustées.


Façade ouest et sud


Combles


Embrasures intérieures en bois

DÉTAILS – SCÉNARIO 2

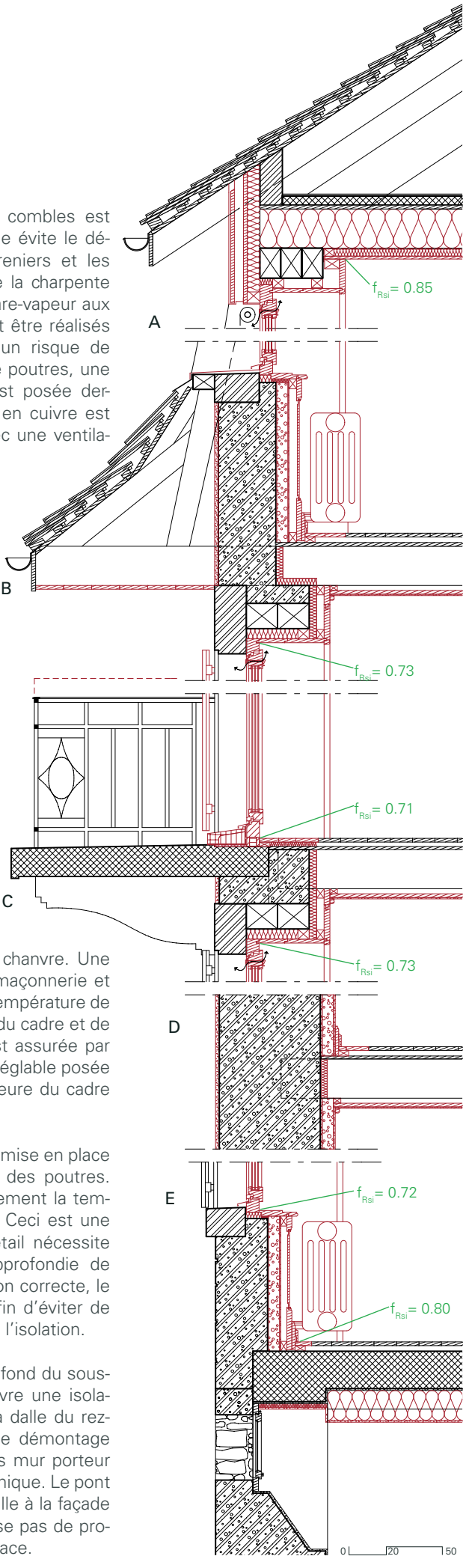
A L'isolation de la dalle des combles est réalisée entre les poutres. Elle évite le démontage des cloisons de greniers et les nombreux raccords autour de la charpente complexe. Les raccords du pare-vapeur aux fenêtres et aux parois doivent être réalisés soigneusement. Pour éviter un risque de condensation sur les têtes de poutres, une isolation en laine minérale est posée derrière à l'extérieure. La partie en cuivre est démontée puis remontée avec une ventilation.

B Les appartements de la mansarde sont isolés par l'intérieur. La mise en oeuvre de l'isolation doit éviter tout vide d'air entre le mur et la couche isolante.

C Aucune intervention sur les balcons n'est nécessaire du point de vue énergétique. Selon le cadre légal la balustrade devrait éventuellement être rehaussée. Un nouveau seuil isolé et une isolation sous une partie du plancher atténuent le pont thermique de la dalle en ciment du balcon. L'embrasure intérieure en bois est déposée, ajustée puis remontée avec un remplissage d'isolation en fibres de chanvre. Une isolation de 50 mm entre la maçonnerie et le cadre permet d'éviter une température de surface trop faible au raccord du cadre et de l'embrasure. La ventilation est assurée par une grille de ventilation hygroréglable posée dans la partie battante supérieure du cadre de la fenêtre.

D Une isolation plus faible est mise en place au niveau de l'encastrement des poutres. Elle évite d'abaisser trop fortement la température autour de la poutre. Ceci est une «piste de réflexion» et le détail nécessite une étude physique plus approfondie de cas en cas. Pour une réalisation correcte, le plancher doit être découpé afin d'éviter de conserver un point faible dans l'isolation.

E Le peu d'installations au plafond du sous-sol permet de mettre en œuvre une isolation en laine minérale sous la dalle du rez-de-chaussée. Elle nécessite le démontage des cloisons de caves. L'épais mur porteur du sous-sol crée un pont thermique. Le pont thermique du raccord de la dalle à la façade en moellons apparent ne cause pas de problème de température de surface.



Raccord façade / dalle des combles
. Carrelage ~10 mm
. Chape ciment 50 mm
. Planchéiage 20 mm
. Poutraison en bois 150 / 210 mm
. Isolation laine minérale
λ = 0.038 W/mK, 210 mm
. Pare-vapeur à diffusion variable
. Lattage, isolation laine minérale,
λ = 0.034 W/mK, 40 mm
. Panneau de plâtre fibré 12.5 mm
. Lissage plâtre

Contre-coeur attique
. Tuiles
. Lattage
. Planchéiage en bois 22 mm
. Poutraison en bois
. Crépi isolant minéral
λ = 0.054 W/mK, 20 mm
. Brique T.C. ~200 mm
. Mortier léger 8 à 10 mm
. Panneau isolant minéral,
λ = 0.042 W/mK, 60 mm
. Enduit ~4 mm
. Lattage 30 mm
. Menuiserie en bois

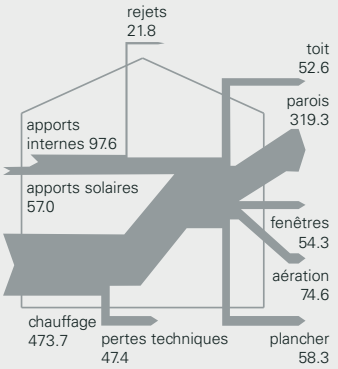
Balcon
. Dalle en ciment 160 mm
sur consoles en pierre naturelle
encastrées dans le mur
. Balustrade en fer forgé
. Seuil isolé en ciment moulé
. Isolation sous le plancher, fibres de
chanvre, λ = 0.039 W/mK, 30 mm

Raccord mur de façade / poutraison
. Crépi isolant, λ = 0.054 W/mK,
20 mm
. Maçonnerie de moellons
500 à 600 mm
. Mortier léger 8 à 10 mm
. Panneau isolant minéral,
λ = 0.042 W/mK, 60 mm
. Enduit ~4 mm
. Isolation entre poutres en fibres de
chanvre, λ = 0.039 W/mK, 40 mm

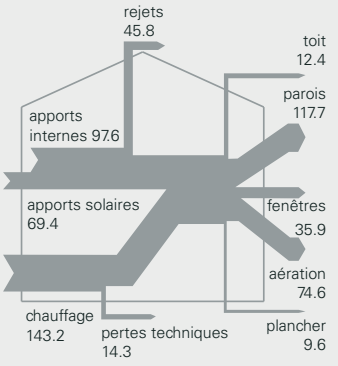
Mur de façade socle
. Maçonnerie de moellons apparents
600 mm
. Mortier léger 8 à 10 mm
. Panneau isolant minéral,
λ = 0.042 W/mK, 60 mm
. Enduit ~4 mm

Dalle sur sous-sol
. Plancher en bois 22 mm
. Lattage 30 mm
. Dalle en ciment 200 mm
. Laine minérale,
λ = 0.034 W/mK, 160 mm
. Enduit ~6 mm

Extrait de la coupe façade rue du scénario 2.

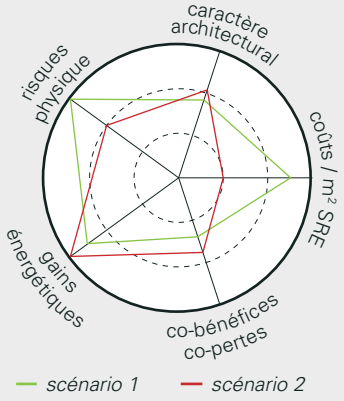


EXISTANT Diagramme de Sankey en [MJ/m²]. La valeur limite SIA 380/1 est de 138.3 MJ/m² et les besoins de chaleur de chauffage sont de 426.3 MJ/m².



SCÉNARIO 2 Diagramme de Sankey en [MJ/m²]. La valeur limite SIA 380/1 est de 139 MJ/m² et les besoins de chaleur de chauffage sont de 128.9 MJ/m².

Part des pertes par les ponts thermiques: 15.4 % (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 total (T.T.C.):
Scénario 1: 1'005'000 CHF
Scénario 2: 1'715'000 CHF

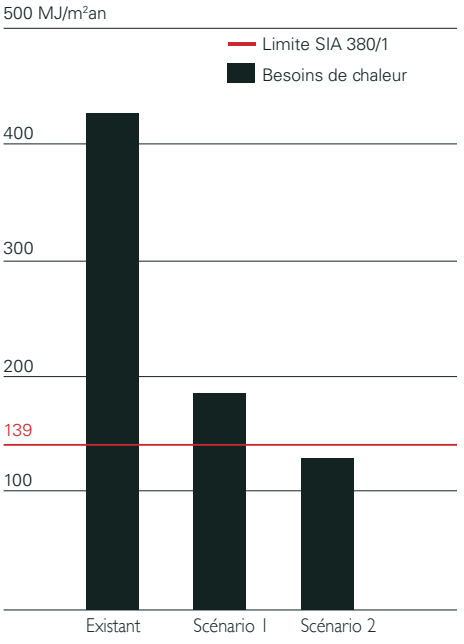
Coût / m² de SRE (T.T.C.):
Scénario 1: 645 CHF
Scénario 2: 1'100CHF

Coût / m² d'éléments (T.T.C.):
Toiture / plancher combles: 370 CHF
Façades:
Scénario 1: 575CHF
Scénario 2: 1'060 CHF
Plancher sur espace non-chauffé: 320 CHF

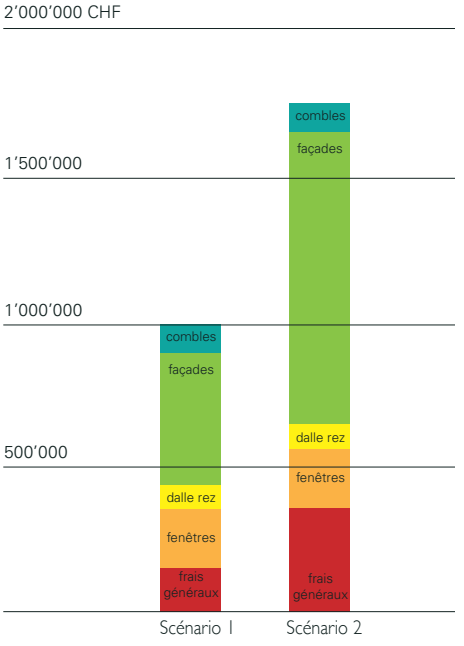
LES SCÉNARIOS

Scénario 1: l'intervention propose de remplacer le crépi extérieur 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/m², soit 57%, pour un investissement de 58% des coûts totaux du scénario 2.

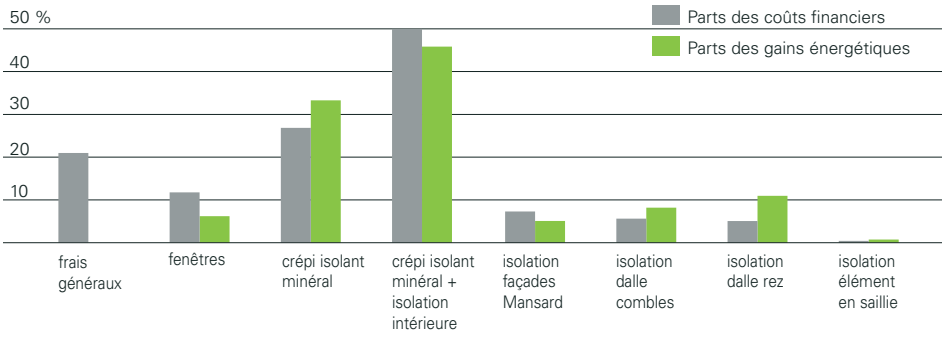
Scénario 2: il intègre les éléments du scénario 1 avec quelques modifications. Le crépi isolant minéral extérieur est de 20 mm uniquement afin de conserver les embrasures en pierre naturelle. Une isolation en panneau minéral de 60 mm est ajoutée à l'intérieur afin d'atteindre la valeur-limite. Le scénario apporte un gain énergétique de 297 MJ/m², soit 70%.



Graphique des besoins de chaleur de l'état existant et des scénarios.



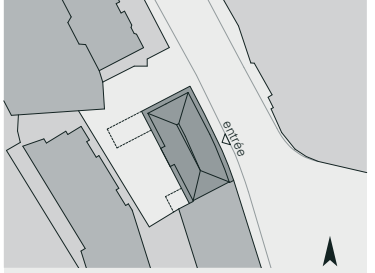
Graphique des coûts financiers de chaque scénario répartis par éléments.



Graphique représentant la part des coûts et les gains énergétiques par mesure d'intervention.

CONCLUSION

Les deux scénarios conservent les caractéristiques architecturales du bâtiment. Le scénario 1 intervient uniquement à l'extérieur des façades des étages types et n'engendre aucune difficulté au niveau de la physique du bâtiment. Avec des coûts financiers réduits, il apporte 85% des gains énergétiques nécessaires pour atteindre la valeur-limite de la norme SIA 380/1. Dans le scénario 2, l'intervention à l'intérieur et à l'extérieur des façades engendre d'une part un coût élevé et d'autre part des détails complexes au niveau des poutres en bois des planchers existants. L'isolation intérieure nécessite des interventions dans les salles de bain, les cuisines et des peintures supplémentaires ce qui fait augmenter les coûts du scénario. Le scénario 2 atteint la limite de la SIA 380/1 malgré des pertes par les ponts thermiques représentant 15% des pertes énergétiques de l'enveloppe du bâtiment.



Situation 1: 2'000 0 5 20

CARACTÉRISTIQUES

L'immeuble, érigé à la fin d'un îlot de bâtiments, est situé au centre-ville de Lausanne. Il se développe sur six étages et un attique, en retrait de la façade. Les façades monolithiques d'environ 35 cm d'épaisseur sont constituées de briques creuses crépies à l'extérieur. Sous la toiture en pente recouverte de tuiles, se situe un espace de combles non chauffé. La façade du rez-de-chaussée est recouverte d'un placage en ciment. Les planchers sont réalisés avec des poutrelles et des hourdis de terre cuite. Les fenêtres ont été remplacées et seules les huisseries à guillotine des locaux commerciaux du rez-de-chaussée sont d'origine. Elles possèdent des embrasures et des tablettes en simili-pierre. Les loggias ouvertes, légèrement saillantes dans la partie centrale et les saillies fermées rythment la façade. Les loggias sont réalisées avec une plateforme en béton et des garde-corps en maçonnerie crépie surmontée d'une main courante en ferronnerie. Dans les angles, l'expression dynamique des balcons arrondis en porte-à-faux renforce la continuité entre les façades gouttereaux et la façade pignon. Le vocabulaire architectural moderniste se veut sans ornementation. Le bâtiment est sobre, seuls des bandeaux horizontaux et une corniche en ciment parcourent de manière continue les trois façades. Ils accentuent la continuité entre elles et renforcent le caractère horizontal du bâtiment.

Année de construction	1939
Surface bâtie [m²]	380
Nombre de commerces	2
Nombre de logements	25
Surface référence énergétique (SRE) [m²]	2'445
Surface d'enveloppe développée [m²]	2'339
Facteur de forme	0.9
Consommation moyenne d'énergie [kWh/an]	436'383
Besoins de chauffage «relevé» [MJ/(m²an)]	445
Besoins de chauffage «calculé» [MJ/(m²an)]	339
Production de chaleur	Chaudière à mazout
Production de chaleur	Radiateurs avec vannes thermostatiques



toiture
en pente

attique
en retrait de la façade

corniche
élément en ciment

espace extérieur
loggias en saillie, dalle béton, garde-corps en maçonnerie crépie avec main courante en ferronnerie

embrasure
simili-pierre

protection solaire
volets à rouleau avec caisson intérieur

dalle d'étage
hourdis de terre cuite

mur de façade
maçonnerie monolithique de briques creuses crépies d'environ 35 cm d'épaisseur

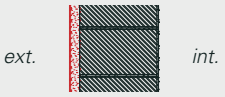
bandeau d'appui
élément en ciment

revêtement de socle
plaque de ciment

dalle sur sous-sol
hourdis de terre cuite

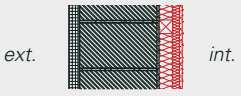
Extrait de la façade nord-est sur la rue.

Mur de façade
Umes : 1.17 W/m²K (±15%)
Ucal existant : 1.22 W/m²K
Ucal rénové minéral : 0.65 W/m²K
Ucal rénové aerogel : 0.46 W/m²K



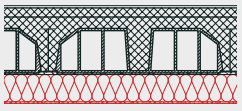
. Crépi isolant 40 mm
. Plots de ciment creux 340 mm
. Enduit plâtre 7 mm

Mur de façade socle
Ucal existant: 1.19 W/m²K
Ucal rénové: 0.26 W/m²K



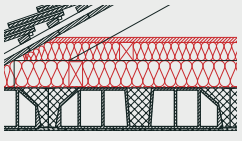
. Plaque de ciment 40 mm
. Plots de ciment creux 340 mm
. Isolation 60 mm+30 mm
. Pare-vapeur

Dalle sur sous-sol
Ucal existant: 0,98 W/m²K
Ucal rénové: 0.22 W/m²K



. Carrelage ~12 mm
. Dalle à hourdis T.C.210 mm
. Enduit plâtre 7 mm
. Isolation 120 mm

Toiture, dalle des combles
Ucal existant: 1.01 W/m²K
Ucal rénové: 0.14 W/m²K



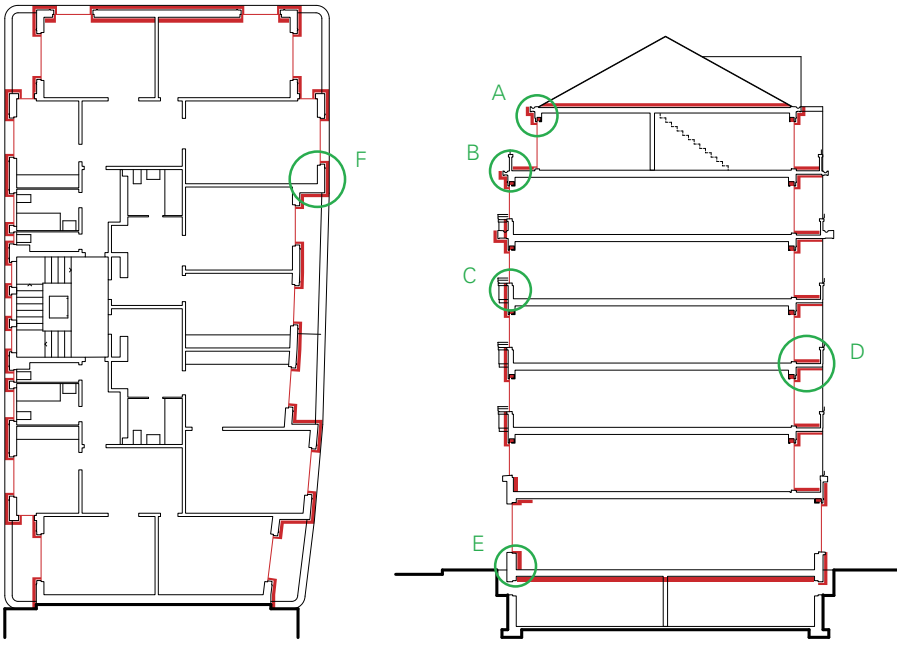
. Isolation 120 + 80 mm
. Pare-vapeur
. Dalle à hourdis T.C.160 mm
. Enduit plâtre 7 mm

Fenêtres
Ug existant: 1.1 W/m²K
Uf existant: 2.0 W/m²K
g existant: 0.55
Ug rénové: 0.6 W/m²K
Uf rénové: 1.1 W/m²K
g rénové: 0.67

. Cadre rénové en PVC
. Verre isolant double rénové
. Cadre en bois
. Verre isolant triple

STRATÉGIE D'INTERVENTION

Les caractéristiques architecturales du bâtiment; ses loggias, ses ouvertures dans les angles, ses nombreuses corniches affirmant son horizontalité et la continuité de ses façades ainsi que son attique en retrait rendent complexe la simple application d'une isolation extérieure sans perte architecturale. La stratégie adoptée est de mettre en œuvre un crépi isolant permettant de conserver ses caractéristiques et d'agir de manière plus importante sur la dalle des combles, celle du rez-de-chaussée et les fenêtres. Des interventions ciblées sur des éléments comme les caissons de store, les embrasures et la terrasse de l'attique complètent l'intervention.



Plan et coupe schématiques. En rouge, les éléments de l'enveloppe isolés dans le scénario d'intervention n°2. En vert, les raccords caractéristiques du bâtiment.

INTERVENTIONS PAR ÉLÉMENTS

Murs: le crépi existant de 15 mm est remplacé par un crépi isolant minéral de 40 mm (λ = 0.054). Un scénario 3 propose un crépi isolant aérogel (λ = 0.029). Afin de conserver l'expression architecturale du socle plaqué en ciment, l'isolation se fait par l'intérieur. Les grands espaces des locaux commerciaux facilitent cette intervention. Une isolation minérale intérieure de 90 mm d'épaisseur de la façade pignon complète l'intervention.

Dalle sur sous-sol et combles: malgré les complications des installations techniques et des cloisonnements de caves, l'isolation de la dalle à hourdis sur sous-sol est réalisée par-dessous. Elle évite une surélévation d'une marche à l'entrée des locaux commerciaux.
L'intervention propose une isolation sur la dalle à hourdis des combles. Elle tient compte de la difficulté d'isoler la cage d'escalier permettant d'y accéder.

Espaces extérieurs: les loggias caractéristiques du bâtiment sont conservées ouvertes. Elles sont isolées par-dessus et par-dessous la dalle en ciment. La main courante en ferronnerie est surélevée. L'intervention est identique pour les terrasses de l'attique. Une isolation extérieure en polystyrène expansé de 120 mm isole les façades des loggias.


Façade sud-ouest sur la cour


Sous-sol et caves

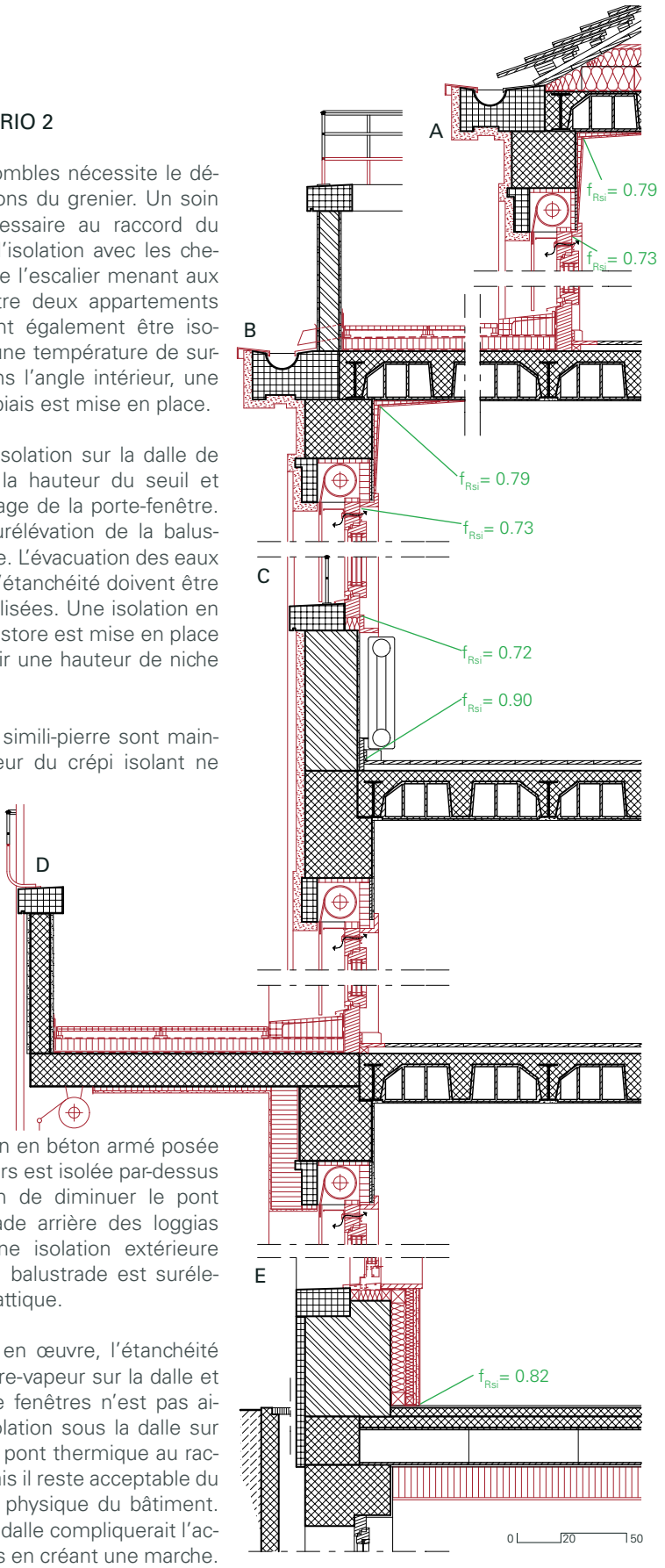

Loggia côté cour

DÉTAILS – SCÉNARIO 2

A L'isolation des combles nécessite le démontage des cloisons du grenier. Un soin particulier est nécessaire au raccord du pare-vapeur et de l'isolation avec les chevrons. Les parois de l'escalier menant aux combles, situé entre deux appartements de l'attique, doivent également être isolées. Afin d'éviter une température de surface trop faible dans l'angle intérieur, une isolation taillée en biais est mise en place.

B L'épaisseur de l'isolation sur la dalle de terrasse influence la hauteur du seuil et la hauteur du passage de la porte-fenêtre. Dans ce cas, la surélévation de la balustrade est nécessaire. L'évacuation des eaux et la remontée de l'étanchéité doivent être soigneusement réalisées. Une isolation en fond de caisson de store est mise en place en veillant à garantir une hauteur de niche suffisante.

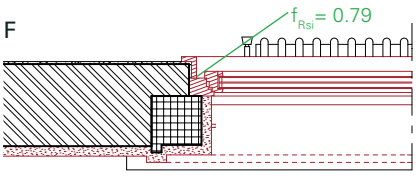
C Les tablettes en simili-pierre sont maintenues et l'épaisseur du crépi isolant ne doit pas dépasser la saillie de la tablette. Une isolation entre le cadre de la fenêtre et la maçonnerie évite une température de surface trop basse au raccord.



D La dalle de balcon en béton armé posée sur les murs porteurs est isolée par-dessus et par-dessous afin de diminuer le pont thermique. La façade arrière des loggias est isolée avec une isolation extérieure supplémentaire. La balustrade est surélevée comme pour l'attique.

E Lors de la mise en œuvre, l'étanchéité des raccords du pare-vapeur sur la dalle et aux embrasures de fenêtres n'est pas aisée à garantir. L'isolation sous la dalle sur le sous-sol crée un pont thermique au raccord à la façade, mais il reste acceptable du point de vue de la physique du bâtiment. Une isolation sur la dalle compliquerait l'accès aux commerces en créant une marche.

F



F Les embrasures sont recouvertes avec un crépi isolant pour diminuer le pont thermique. La finition différente du crépi permet de conserver une lecture des embrasures existantes. Le crépissage des embrasures réduit la largeur du vide de maçonnerie et nécessite la modification des stores.

Raccord façade / dalle des combles
. Panneau d'aggloméré 20 mm
. Ossature, isolation laine minérale, λ = 0.035 W/mK, 120 + 80 mm
. Pare-vapeur
. Dalle à hourdis T.C. 200 mm
. Enduit plâtre 7 mm
. Isolation d'angle en polyuréthane rigide, doublée d'un pare-vapeur, λ = 0.03 W/mK, 30 x 100 cm, 20 à 3 mm

Dalle de terrasse
. Dalles en ciment
. Couche de support
. Étanchéité
. Isolation polyuréthane en pente, λ = 0.029 W/mK, 25 à 50 mm
. Barrière-vapeur
. Dalle à hourdis T.C. 250 mm
. Enduit plâtre 7 mm

Mur de façade
. Crépi isolant minéral, λ = 0.054 W/mK, 40 mm
. Maçonnerie de plots de ciment creux 340 mm
. Enduit plâtre 7 mm
. Papier peint

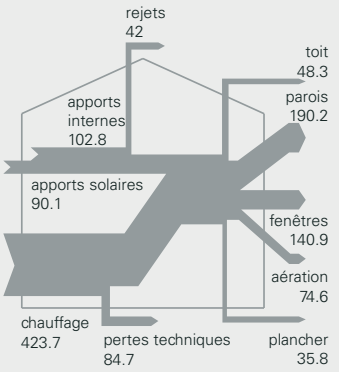
Dalle de balcon
. Dalles en ciment
. Couche de support
. Étanchéité
. Isolation polyuréthane en pente, λ = 0.029 W/mK, 20 à 50 mm
. Carrelage existant ~12 mm
. Dalle béton armé 160 mm
. Isolation polystyrène expansé, λ = 0.03 W/mK, 20 mm
. Crépi extérieur

Mur de façade de loggia
. Crépi extérieur
. Isolation polystyrène expansé, λ = 0.031 W/mK, 120 mm
. Maçonnerie de plots de ciment creux 340 mm
. Enduit plâtre 7 mm
. Papier peint

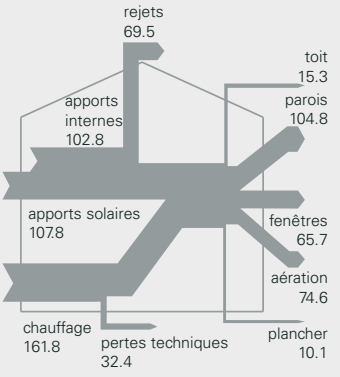
Mur socle côté rue
. Plaque de ciment 40 mm
. Maçonnerie de plots de ciment creux 340 mm
. Isolation laine minérale, λ = 0.032 W/mK, 60 mm
. Pare-vapeur à diffusion variable
. Isolation laine minérale, λ = 0.032 W/mK, 30 mm
. Panneau de plâtre, 2 x 12,5 mm
. Lissage au plâtre 3 mm
. Peinture

Dalle sur sous-sol
. Revêtement de sol
. Dalle à hourdis T.C. 250 mm
. Isolation laine minérale, λ = 0.035 W/mK, 120 mm
. Enduit 7 mm

Extrait du plan du 2e étage et de la coupe façade rue du scénario 2.

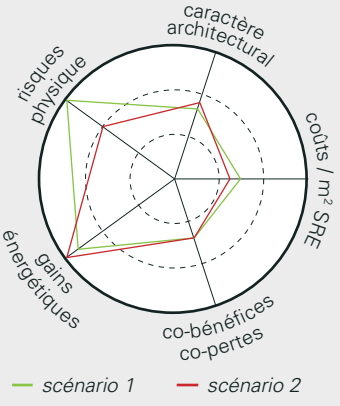


EXISTANT Diagramme de Sankey en [MJ/m²]. La valeur limite SIA 380/1 est de 130 MJ/m² et les besoins chaleur de chauffage sont de 338.9 MJ/m².



SCÉNARIO 2 Diagramme de Sankey en [MJ/m²]. La valeur limite SIA 380/1 est de 130 MJ/m² et les besoins de chaleur de chauffage sont de 129.4 MJ/m².

Part des pertes par les ponts thermiques : 23 % (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 total (T.T.C.):
Scénario 1: 2'085'000 CHF
Scénario 2: 2'225'000 CHF
Scénario 3: 2'665'000 CH

Coût / m² de SRE (T.T.C.):
Scénario 1: 960 CHF
Scénario 2: 1'030 CHF
Scénario 3: 1'230 CHF

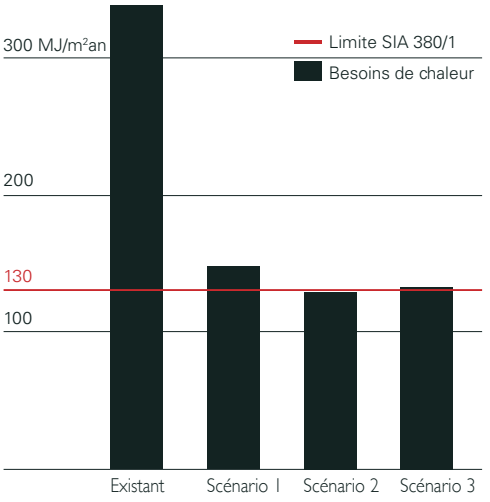
Coût / m² d'éléments (T.T.C.):
Toiture / plancher combles: 465 CHF
Façades:
Scénario 1: 1'010 CHF
Scénario 2: 1'105 CHF
Scénario 3: 1'470 CHF
Plancher sur espace non-chauffé:
300 CHF

LES SCÉNARIOS

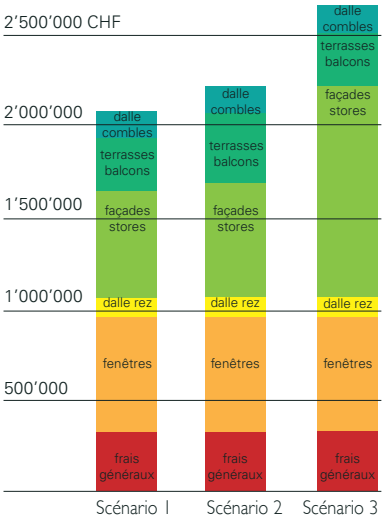
Scénario 1: il intègre le changement des fenêtres, un crépi isolant minéral, l'isolation par l'intérieur du rez-de-chaussée, l'isolation des balcons, des caissons de store, de la dalle des combles et de la dalle sur sous-sol. Il apporte un gain énergétique de 190 MJ/m², soit 56%, pour un investissement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

Scénario 2: 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%.

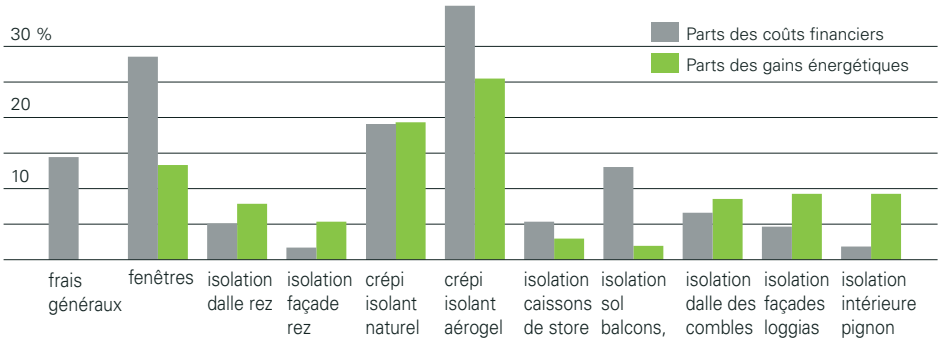
Scénario 3: il reprend les mesures du scénario 1 en changeant le crépi isolant minéral par un crépi isolant aérogel. Il approche la valeur-limite SIA 380/1 avec un besoin de chaleur de chauffage de 133 MJ/m², soit un gain énergétique de 61%, mais pour uninvestissement supérieur de 20% au scénario 2.



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



Graphique des coûts financiers de chaque scénario répartis par éléments.



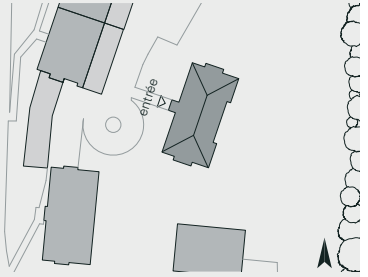
Graphique représentant la part des coûts et la part des gains énergétiques par mesure d'intervention.

CONCLUSION

Les trois scénarios conservent les caractéristiques architecturales du bâtiment, mais des différences notables ressortent. Le scénario 1 utilise un crépi isolant minéral et améliore significativement les pertes énergétiques (91% des gains énergétiques nécessaires pour atteindre la limite SIA 380/1). Une augmentation des épaisseurs d'isolation sur la dalle des combles ou au plafond du sous-sol ne permettrait pas d'atteindre la valeur-limite. Le scénario 2 atteint la valeur-limite, en mettant en place deux mesures ciblées. D'une part, une isolation extérieure des façades à l'arrière des balcons, mais elle réduit leur surface et leur usage. D'autre part, une isolation intérieure de la façade pignon qui réduit aussi légèrement les surfaces utiles. Le scénario 3, en utilisant un crépi isolant à base d'aérogel ayant un coût élevé et sur lequel il existe peu de recul quant à son comportement dans le temps, permettrait d'atteindre la limite sans ces mesures. Si l'isolation des surfaces horizontales des balcons et des caissons de store apporte peu d'améliorations énergétiques par rapport à l'investissement financier, elle est nécessaire dans la résolution des ponts thermiques qui représentent près d'un quart des pertes énergétiques du bâtiment.

CARACTÉRISTIQUES

L'immeuble, non-contigu, est implanté en périphérie de la ville de Lausanne. Un grand espace vert sert de cadre naturel à un ensemble d'habitations accueillant des logements économiques. Le bâtiment se développe sur cinq étages et s'oriente principalement vers le sud-ouest. Son organisation exploite la pente du terrain en plaçant deux appartements au rez-de-chaussée inférieur et les locaux techniques dans la partie enterrée. L'architecture simple et rationnelle en maçonnerie crépie, n'exclut cependant pas le soin des détails et un certain confort. La façade sud-ouest, élaborée sur un axe de symétrie centrale se caractérise par une trouée verticale de loggias légèrement saillantes entourée par des pans de murs pleins. Le long garde-corps massif couronné d'une tablette en simili-pierre et la liaison des ouvertures de la partie pleine par un encadrement en simili-pierre donnent une certaine horizontalité au bâtiment. Les ouvertures de la façade nord-est sont organisées de part et d'autre de la baie vitrée verticale de la cage d'escalier, composée d'un châssis métallique et de verres simples. Des espaces de combles non-chauffés et inexploités sont situés sous la toiture. Les avant-toits et la faible pente de la toiture rendent celle-ci peu perceptible. Les murs de façade crépis d'environ 30 centimètres d'épaisseur sont composés d'une brique porteuse à l'extérieur d'une lame d'air et d'un doublage en brique à l'intérieur. Les dalles à poutrelles et hourdis de terre cuite reposent sur les murs de façades et des murs de refend. La dalle en béton des loggias porte sur les murs de façade. Une partie des fenêtres possède encore un châssis en bois et deux verre simple. Des volets à rouleau, montés dans un caisson intérieur, permettent d'obscurcir les ouvertures.



Situation 1: 2'000

Année de construction	1960
Surface bâtie [m²]	324
Nombre de logements	18
Surface référence énergétique (SRE) [m²]	1'475
Surface d'enveloppe développée [m²]	1'870
Facteur de forme	1.1
Consommation moyenne d'énergie [KWh/an]	220'230
Besoins de chauffage «relevé» [MJ/(m²an)]	355
Besoins de chauffage «calculé» [MJ/(m²an)]	325
Production de chaleur	Chaudière à mazout
Distribution de chaleur	Radiateurs sans vannes thermostatiques



toiture
en pente couverte de tuiles, avant-toit en filigrane

dalle des combles
poutrelle et houdis de terre cuite

encadrement
simili-pierre

dalle d'étage
poutrelle et hourdis de terre cuite

fenêtre
cadre bois, verre double

protection solaire
volets à rouleau avec caisson intérieur

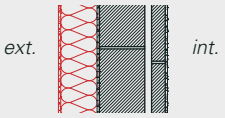
mur de façade
maçonnerie de brique terre cuite crépie avec un vide d'air et un doublage intérieur (environ 30 cm d'épaisseur)

espace extérieur
loggias légèrement en saillie, dalle béton, garde-corps en maçonnerie crépie

dalle sur vide sanitaire
poutrelle et hourdis de terre cuite

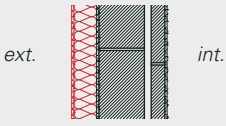
Extrait de la façade sud-est.

Mur de façade
Umes : non disponible
Ucal existant : 0.65 W/m²K
Ucal rénové : 0.16 W/m²K



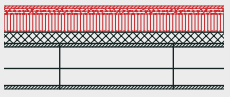
. Isolation 160 mm
. Enduit existant 10 mm
. Briques T.C. creuses 200 mm
. Vide d'air 30 mm
. Briques T.C. creuses 60 mm
. Enduit plâtre ~7 mm

Mur de façade loggia
Ucal existant: 0.65 W/m²K
Ucal rénové: 0.24 W/m²K



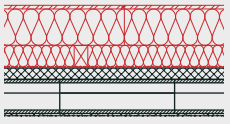
. Isolation 100 mm
. Enduit existant 10 mm
. Briques T.C. creuses 200 mm
. Vide d'air 30 mm
. Briques T.C. creuses 60 mm
. Enduit plâtre ~7 mm

Dalle sur sous-sol
Ucal existant: 1.06 W/m²K
Ucal rénové: 0.31 W/m²K



. Isolation 80 mm
. Dalle à hourdis T.C. et poutrelles en béton 250 mm

Toiture, dalle des combles
Ucal existant: 0.30 W/m²K
Ucal rénové: 0.11 W/m²K



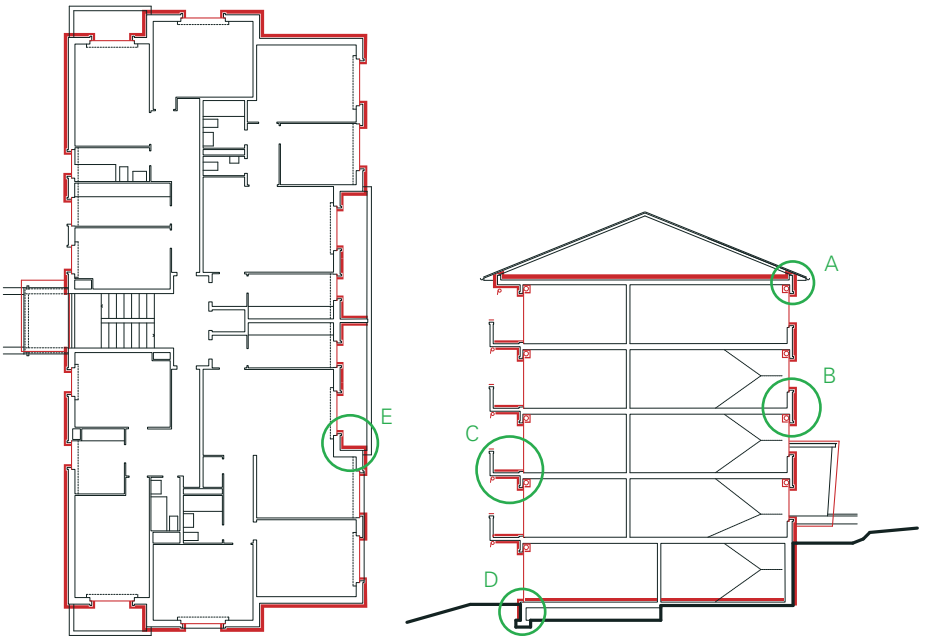
. Isolation 160 + 100 mm
. Pare-vapeur
. Isolation 100 mm (démontée)
. Dalle à hourdis T.C. et poutrelles en béton 210 mm
. Enduit plâtre ~7 mm

Fenêtres
Ug existant: 1.1 ou 3.0 W/m²K
Uf existant: 1.9 W/m²K
g existant: 0.75
Ug rénové: 1.00 W/m²K
Uf rénové: 1.1 W/m²K
g rénové: 0.6

. Cadre rénové en PVC ou d'origine en bois
. Verre isolant double rénové ou deux verres simples sans isolation d'origine
. Cadre en bois
. Verre isolant double

STRATÉGIE D'INTERVENTION

La simplicité de la volumétrie permet une isolation extérieure des façades qui conserve les éléments caractéristiques du bâtiment. Pour des raisons d'exécution et d'économie, l'ensemble des espaces techniques a été intégré au volume isolé. L'intervention conserve l'expression des encadrements existants en simili-pierre regroupant parfois deux ouvertures. Ils sont remplacés par des encadrements isolés en composite ciment-verre. Bien que réduite à cause de l'épaisseur d'isolation, la saillie des balcons demeure perceptible.



Plan et coupe schématiques. En rouge, les éléments de l'enveloppe isolés dans le scénario d'intervention n°2. En vert, les raccords caractéristiques du bâtiment.

INTERVENTIONS PAR ÉLÉMENTS

Murs : une isolation minérale crépie de 160 mm d'épaisseur est posée à l'extérieur. Un encadrement préfabriqué en composite permet de réduire au minimum le vide de lumière tout en conservant l'expression des encadrements existants. Les murs des locaux enterrés sont isolés par l'extérieur.

Dalle sur sous-sol et combles : l'isolation de la dalle des combles est remplacée par une isolation de 260 mm d'épaisseur.
Une isolation de 80 mm d'épaisseur est posée sur la dalle du rez-de-chaussé inférieur.

Espaces extérieurs : Les murs des balcons sont isolés avec une épaisseur de 100 mm. La conservation des balcons nécessite une atténuation du pont thermique. Une isolation dessus et dessous la dalle est nécessaire.


Entrée nord-ouest


Caves


Loggias sud-est

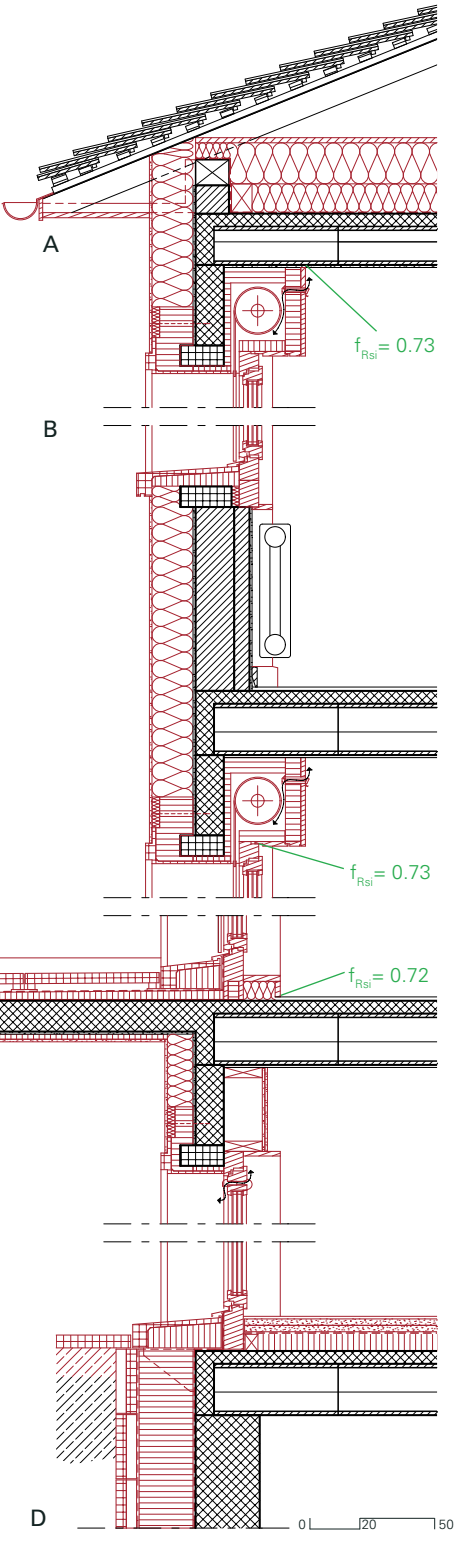
DÉTAILS – SCÉNARIO 2

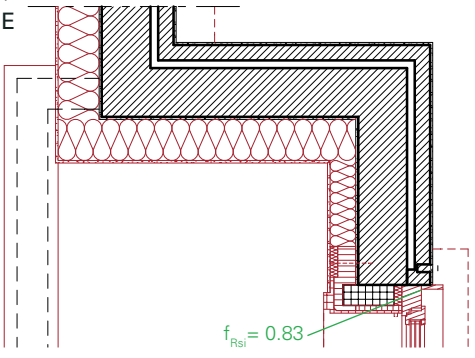
A Les combles inexploités facilitent l'intervention. Il est préférable de retirer la faible isolation existante afin de réaliser de nouveaux raccords corrects à la sablière. La mise en œuvre du pare-vapeur et de l'isolation aux raccords des chevrons doit être réalisée soigneusement. L'importante épaisseur d'isolation nécessite la modification de l'escalier escamotable d'accès. Les fermetures d'avant-toit sont démontées afin de réaliser une remontée de l'isolation extérieure jusque sous la sous-couverture.

B Les nouveaux encadrements en composite de ciment-verre recouvrent les encadrements en simili-pierre existants avec une épaisseur réduite au minimum afin de conserver les proportions des ouvertures et un maximum de vide pour l'apport de lumière. La réduction du vide de maçonnerie nécessite le remplacement des stores. Les caissons intérieurs sont remplacés par des caissons isolés intégrant une grille hygroréglable. Elle permet de gérer le renouvellement d'air réduit par la nouvelle enveloppe plus étanche.

C Afin d'atténuer le pont thermique créé par la continuité de la dalle en ciment, une isolation est posée dessus et dessous. La pente intégrée à l'isolation permet d'évacuer l'eau vers l'écoulement. Un élément préfabriqué rehausse le garde-corps afin de respecter la hauteur minimale de 100 cm (90 cm si largeur > 20 cm). Un seuil intérieur isolé de 80 mm de haut, inséré dans la profondeur de l'embrasure, permet d'éviter une température de surface trop faible au raccord entre le cadre de la fenêtre et le plancher.

D Le vide d'étage de 260 cm permet une isolation sur la dalle située sur le vide sanitaire. Celle-ci nécessite la modification des portes, armoires, cuisines et sanitaires des deux appartements du rez-de-chaussée inférieur.





E L'isolation extérieure des murs du balcon est de 100 mm afin de conserver une largeur utile suffisante. La faible hauteur du vide de passage a nécessité d'intégrer la grille de ventilation dans la partie battante supérieure du cadre de fenêtre.

Raccord façade / dalle des combles
. Panneau d'aggloméré 16 mm
. Ossature, isolation laine minérale, λ = 0.034 W/mK, 160 mm
. Isolation laine minérale, λ = 0.035 W/mK, 100 mm
. Pare-vapeur
. Dalle à hourdis T.C. avec poutrelles en ciment 210 mm
. Enduit plâtre 7 mm

Linteau / caisson de store
. Élément d'encadrement en composite ciment-verre avec isolation polystyrène / laine minérale 160 mm
. Enduit ~10 mm
. Linteau en béton 110 mm
. Caisson intérieur de volet à rouleau isolation polytyrène 25 mm / vide / isolation polystyrène 60 mm / panneau de bois peint
. Grille de ventilation hygroréglable

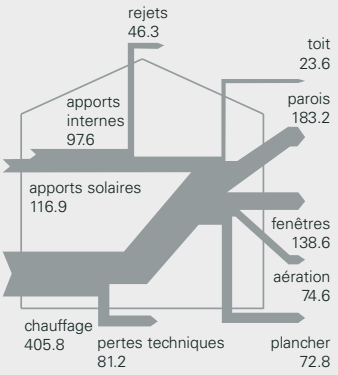
Mur de façade
. Crépi extérieur 10 mm
. Isolation laine minérale, λ = 0.034 W/mK, 160 mm
. Crépi existant ~10 mm
. Briques T.C. creuses 200 mm
. Vide d'air 30 mm
. Briques T.C. creuses 60 mm
. Enduit plâtre ~ 7 mm

Dalle de balcon
. Dallage 40 mm
. Support
. Étanchéité
. Isolation polyuréthane en pente, λ = 0.02 W/mK, 40 mm
. Dalle en ciment 120 mm
. Isolation polystyrène, λ = 0.03 W/mK, 20 mm
. Crépi extérieur

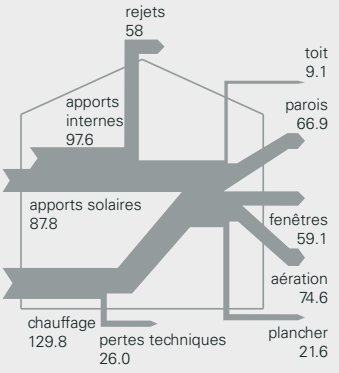
Dalle sur vide sanitaire
. Revêtement sol ~10 mm
. Panneau de plâtre fibré 2 x 10 mm
. Isolation polystyrène, λ = 0.035 W/mK, 80 mm
. Dalle à hourdis T.C. avec poutrelles en ciment 250 mm

Mur de balcon
. Crépi extérieur 10 mm
. Ossature, isolation laine minérale, λ = 0.034 W/mK, 100 mm
. Crépi existant ~10 mm
. Briques T.C. creuses 200 mm
. Vide d'air 30 mm
. Briques T.C. creuses 60 mm
. Enduit plâtre ~ 7 mm

Extrait du plan du 2e étage et de la coupe façade jardin du scénario 2.

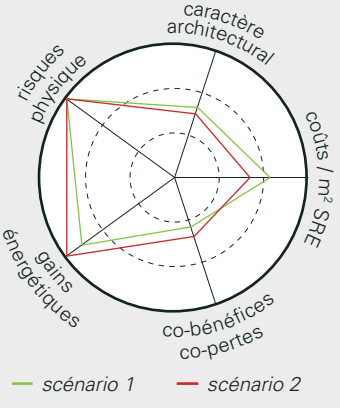


EXISTANT Diagramme de Sankey. La valeur limite SIA 380/1 est de 117.0 MJ/m² et les besoins de chaleur de chauffage sont de 324.6 MJ/m².



SCÉNARIO 2 Diagramme de Sankey en [MJ/m²]. La valeur limite SIA 380/1 est de 119 MJ/m² et les besoins de chaleur de chauffage sont de 103.9 MJ/m².

Part des pertes par les ponts thermiques: 18.1% (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 total (T.T.C.):
Scénario 1: 1'160'000 CHF
Scénario 2: 1'375'000 CHF

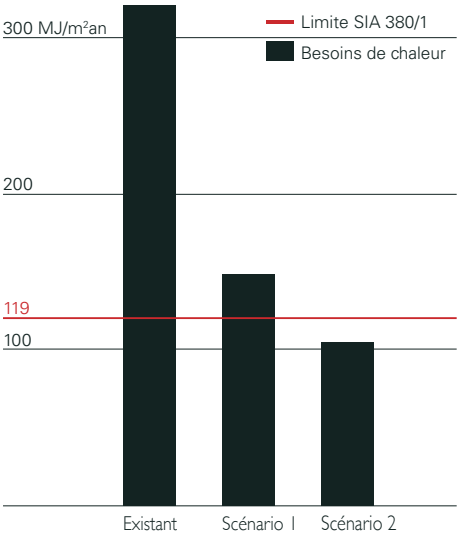
Coût / m² de SRE (T.T.C.):
Scénario 1: 760 CHF
Scénario 2: 895 CHF

Coût / m² d'éléments (T.T.C.):
Toiture: 280 CHF
Façades: 720 CHF
Dalle contre terrain: 610 CHF

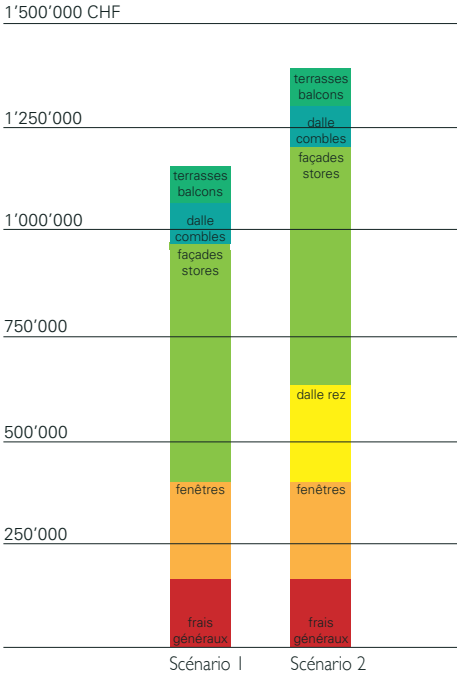
LES SCÉNARIOS

Scénario 1: il intègre le remplacement des fenêtres, l'isolation extérieure des murs, l'isolation extérieure des murs enterrés, l'isolation de la dalle des combles, l'isolation extérieure du volume d'entrée, l'isolation des caissons de stores et l'isolation des dalles de balcons. Avec un besoin de chaleur de 147 MJ/m², le scénario n'atteint pas la valeur-limite de la SIA 380/1. Il apporte un gain énergétique de 179 MJ/m², soit 55 %, avec 84% de l'investissement financier du scénario 2.

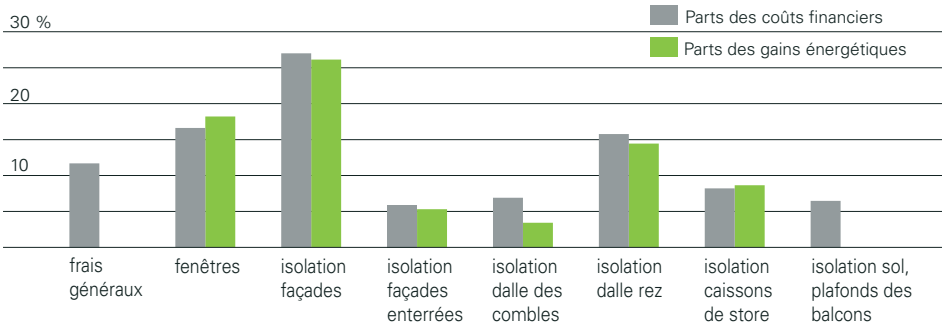
Scénario 2: il reprend le scénario 1 auquel il ajoute l'isolation de la dalle du rez-de-chaussée inférieur. Le scénario atteint la limite SIA 380/1 de 119 MJ/m². Il apporte un gain énergétique de 220 MJ/m², soit une amélioration de 68 %.



Graphique des besoins de chaleur de l'état existant et des scénarios.



Graphique des coûts financiers de chaque scénario répartis par éléments.



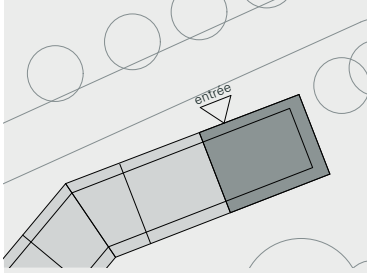
Graphique représentant la part des coûts et les gains énergétiques par mesure d'intervention.

CONCLUSION

L'intervention permet de conserver les caractéristiques architecturales du bâtiment. Une épaisseur d'isolation extérieure adéquate en façade permet de maintenir l'expression des balcons et leur usage. Une épaisseur d'isolation supérieure de 40 mm n'apporterait qu'une amélioration énergétique de 1%. L'isolation de la dalle contre terrain est nécessaire pour atteindre la limite SIA 380/1. Cependant, elle représente une part importante des coûts financiers (15,3%) car elle nécessite de nombreuses modifications dans les deux appartements du rez-de-chaussée inférieur. L'isolation des combles apporte peu de gains énergétiques, car l'état existant comprend 100 mm d'isolation posée lors de transformations précédentes. Si l'isolation des surfaces horizontales des balcons apporte peu d'améliorations énergétiques par rapport à l'investissement financier, elle est nécessaire dans la résolution des ponts thermiques qui représentent près d'un cinquième des pertes énergétiques du bâtiment.

CARACTÉRISTIQUES

Le bâtiment se situe dans une cité nouvelle, en périphérie de Genève. Il fait partie d'une grande barre dont la longueur totale est d'environ 200 mètres. Il compte huit étages sur rez-de-chaussée et deux niveaux d'attiques en duplex qui se développent en retrait de la façade. La structure, typique de cette époque est faite de murs de refends et dalles en béton armé stabilisés par un noyau de circulations verticales. Les trois façades sont marquées par la présence de balcons en coursive qui entourent le bâtiment à tous les étages, le rythmant de leurs lignes horizontales. Les façades en retrait des balcons sont largement vitrées. A l'attique, la façade alterne entre fenêtres et éléments en béton préfabriqué avec une apparence simili pierre. Le rez-de-chaussée est revêtu de plaques de béton préfabriquées peintes, mais il est surtout marqué par son hall d'entrée généreux qui lie la rue au parc. Des fenêtres en PVC avec un verre isolant triple ont remplacé en 2010–2011 les fenêtres d'origine en bois-métal avec un verre isolant double sur les étages 1 à 8. Dans le cadre de cette étude, il a été fait abstraction de ce remplacement lors de l'établissement du bilan de l'existant.



Situation 1: 2'000 0 5 20

Année de construction	1970
Surface bâtie [m²]	308
Nombre de logements	27
Surface référence énergétique (SRE) [m²]	2'811
Surface d'enveloppe développée [m²]	1'934
Facteur de forme	0.77
Consommation moyenne d'énergie [KWh/an]	369'702
Besoins de chauffage «relevé» [MJ/(m²an)]	351
Besoins de chauffage «calculé» [MJ/(m²an)]	335
Production de chaleur	Chaudière à distance (cadiom)
Distribution de chaleur	Radiateurs avec vannes thermostatiques



toiture
plate

attique
en retrait de la façade, façades béton préfabriqué

mur de refend
en béton armé, partiellement isolé

espaces extérieurs
balcons linéaires, dalle béton, garde-corps en béton préfabriqué peint et verre

linteau
béton armé

fenêtres
cadres bois-métal, verre isolant double (avant 2011)

dalle d'étage
béton armé

volets à rouleau
avec caisson intérieur

garde-corps
simili-pierre / verre

façade rez-de-chaussée
panneaux de béton préfabriqué peints

dalle sur sous-sol
béton armé

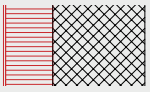
Extrait de la façade nord.

Mur de façade
Umes : 1.1 W/m²K
Ucal existant : 1.53 W/m²K
Ucal rénové v1 : 0.17 W/m²K



. Isolation 200 mm
. Muret béton
. Vide d'air
. Plaques de plâtre enduites

Mur de façade pignon
Umes : 0.49 W/m²K
Ucal existant: 0.55 W/m²K
Ucal rénové: 0.18 W/m²K



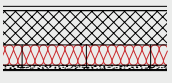
. Isolation 220 mm
. Mur béton armé

Mur de façade attique
Umes : 1.85 W/m²K
Ucal existant: 2.12 W/m²K
Ucal rénové: 0.41 W/m²K



. Panneau de béton préfabriqué
. Muret en béton coulé
. Isolation 80 mm
. Pare-vapeur
. Double plaques de plâtre enduites

Dalle sur rez-de-chaussée
Ucal existant: 2.14 W/m²K
Ucal rénové: 0.29 W/m²K



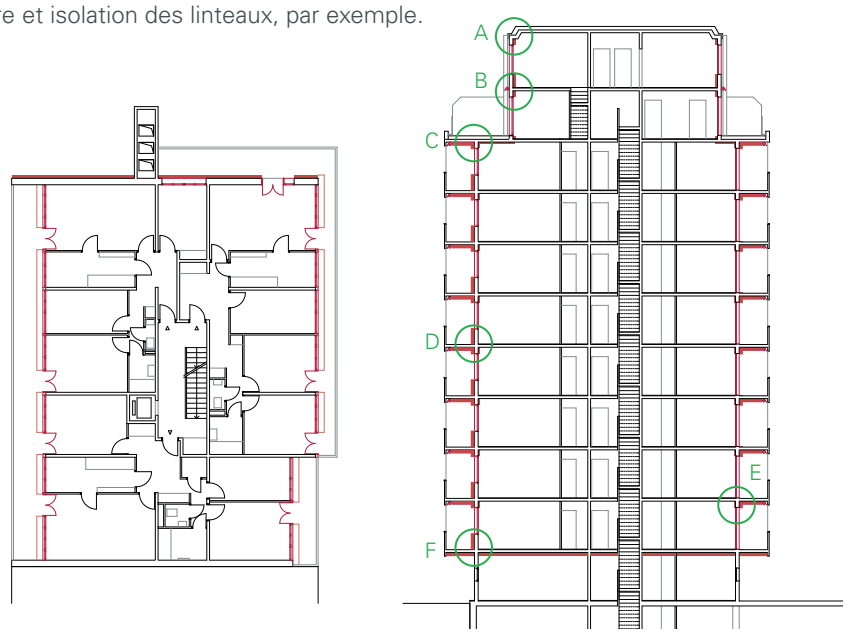
. Parquet collé
. Dalle béton armé
. Isolation 100 mm
. Faux-plafond suspendu

Fenêtres
Uverre existant: 3.0 W/m²K
Ucadre existant: 1.9 W/m²K
g existant: 0.75
Uverre rénové: 0.4 W/m²K
Ucadre rénové: 1.2 W/m²K
g rénové: 0.37

. Cadres bois-métal
. Double verres isolants
. Cadres bois-métal
. Verre isolant triple

STRATÉGIE D'INTERVENTION - SCÉNARIO 2

La typologie architecturale des étages 1 à 8 divergeant fortement de celle des niveaux de l'attique, des stratégies d'intervention différentes sont proposées. Ainsi, aux étages 1 à 8, la présence des balcons-coursives permet d'isoler le bâtiment par l'extérieur des contrecœurs, sans en modifier l'apparence générale. En attique, une intervention par l'intérieur est privilégiée afin de conserver le caractère et la durabilité de la façade existante en béton préfabriqué coloré. Au rez-de-chaussée, une isolation insérée dans la cavité du faux-plafond existant permet d'isoler ce niveau du volume chauffé. Certaines interventions ciblées complètent l'intervention : isolation des caissons de stores, seuils isolés de fenêtre et isolation des linteaux, par exemple.



Plan et coupe schématiques. En rouge, les éléments de l'enveloppe isolés dans le scénario d'intervention n°2. En vert, les raccords caractéristiques du bâtiment.

INTERVENTIONS PAR ÉLÉMENTS

Façade principale : l'espace des balcons permet la pose d'une isolation extérieure au niveau du plafond (sous les dalles) et des contrecœurs. Un seuil isolant réduit l'incidence du pont thermique lié à la continuité de la dalle. Les fenêtres sont changées (verre isolant triple) et des retours d'isolation sont prévus dans leurs embrasures. Le caisson de store est supprimé. La protection solaire est assurée par des stores en toile extérieurs et l'obscurcissement par des rideaux intérieurs.

Façade de l'attique : l'intervention consiste à mettre en place une isolation de type laine minérale à l'intérieur du bâtiment avec un pare-vapeur protégé par un double panneau de plâtre gypsé. Cette intervention implique le déplacement des radiateurs existants (diminution minime de la surface de l'appartement). Les stores sont supprimés et leurs caissons remplis d'isolant. Les fenêtres PVC avec un verre isolant double sont changées pour des cadre bois-métal et des verres isolants triples.

Dalle sur rez-de-chaussée et combles : aucune intervention particulière n'est prévue en toiture ainsi que sur les terrasses des attiques (rénovation récente). Au rez-de-chaussée, l'espace entre la dalle et le faux-plafond est exploité pour mettre en place une isolation de type laine minérale. Les halls d'entrée ne seront plus chauffés et par conséquent exclus du volume chauffé. L'enveloppe énergétique du bâtiment est ramenée au niveau de la dalle sur rez.



Balcon, façade nord



Attique, façade nord



Hall d'entrée

DÉTAILS - SCÉNARIO 2

A L'attique bénéficie d'une intervention propre à son mode de construction. Les fenêtres en PVC sont remplacées par de nouvelles fenêtres avec un verre isolant triple et des cadres bois-métal. En façade nord-ouest, le store existant est démonté pour permettre le remplissage du caisson par de la laine minérale. En façade sud-est, un nouveau store à rouleau isolé est mis en place pour éviter le risque de surchauffe estivale.

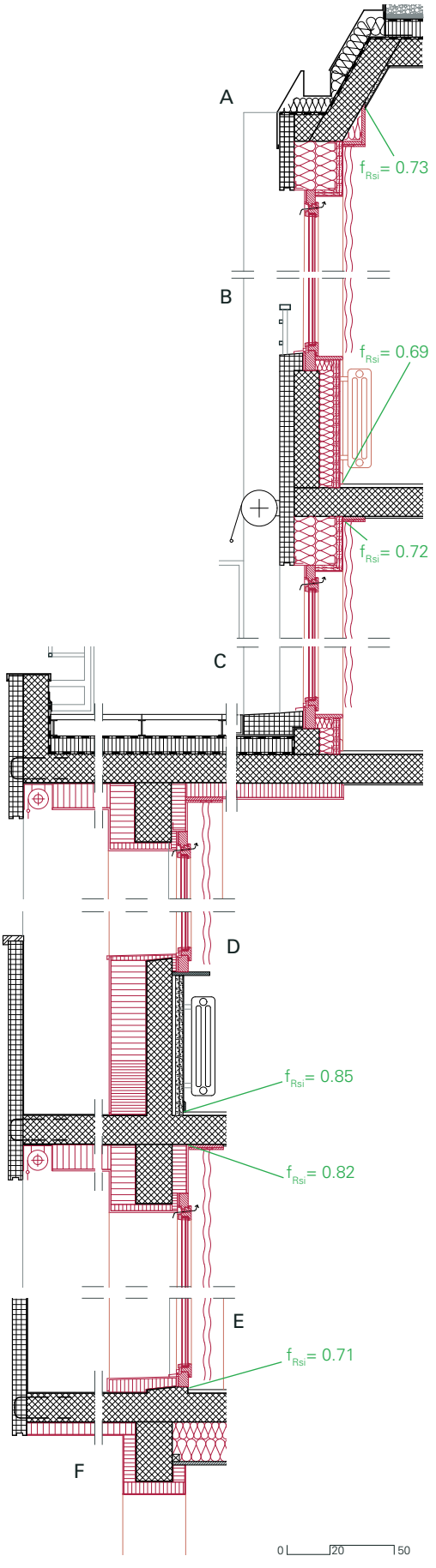
B Les contrecœurs des niveaux de l'attique sont isolés par l'intérieur avec de la laine minérale. La mise en œuvre du pare-vapeur doit faire l'objet d'une attention particulière. La finition se fait grâce à deux plaques de plâtre enduites et le radiateur est déplacé de 50 mm. La jonction entre le mur et la dalle doit faire l'objet d'une étude complémentaire afin de définitivement exclure les risques de condensation (frsi inférieur à 0.72).

C Les terrasses des attiques sont maintenues en l'état. Le plafond des balcons est isolé et crépi. Aux étages 1 à 8, les caissons de store existants sont supprimés pour permettre la mise en place à l'intérieur d'une isolation de type EPS. L'obscurcissement des pièces est assuré par l'installation d'une nouvelle galerie à rideaux. Le store toile à projection existant (vétuste) est remplacé par un nouveau store-toile vertical.

D Le contrecœur des balcons est isolé à l'extérieur par une isolation de type EPS crépie. Des retours d'isolation sont prévus dans l'embrasure des fenêtres. Le pied de mur en contact avec la dalle est traité en isolation type XPS.

E Les nouvelles portes-fenêtres en cadre bois-métal avec un verre isolant triple permettant l'accès aux balcons bénéficient d'un seuil en aluminium isolé, ceci limite les effets de pont thermique de la dalle.

F Le rez-de-chaussée étant exclu du volume chauffé du bâtiment, une isolation en laine minérale est mise en place dans le faux-plafond existant. A l'intérieur des locaux de service, une attention particulière est portée dans l'exécution de retours d'isolation verticaux, permettant de limiter les ponts thermiques de la structure.



Caisson de store attique
. Élément en béton préfabriqué 80 mm
. Isolation laine minérale, λ = 0.04 W/mK, 240 mm
. Pare-vapeur
. Plaques de plâtre 2x15 mm
. Enduit intérieur 5 mm

Contrecœur attique
. Panneau en béton préfabriqué 80 mm
. Muret en béton coulé 140 mm
. Crépi de finition
. Isolation laine minérale λ = 0.04 W/mK, 80 mm
. Pare-vapeur
. Plaques de plâtre 2x15 mm
. Enduit de finition 5 mm

Dalle attique
. Dallettes en béton 30 mm
. Taquets de pose 90 mm
. Étanchéité bitumineuse
. Isolation polystyrène expansé λ = 0.036 W/mK
. Pare-vapeur
. Dalle béton armé 160 mm
. Plafond gypsé 5 mm
. Isolation polystyrène expansé λ = 0.036 W/mK, 80 et 140 mm
. Crépi de finition 10 mm

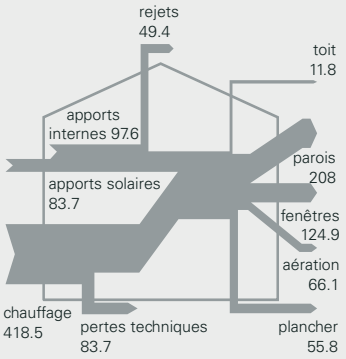
Linteau étage courant
. Crépi 10 mm
. Isolation polystyrène expansé, λ = 0.036 W/mK, 140 mm
. Linteau béton 200 mm
. Isolation polystyrène expansé, λ = 0.036 W/mK, 80 mm
. Crépi 10 mm

Contrecœur étage courant
. Crépi 10 mm
. Isolation polystyrène expansé, λ = 0.036 W/mK, 200 mm
. Muret béton armé 200 mm
. Vide d'air 20 mm
. Plaques de plâtre enduites 2x20 mm

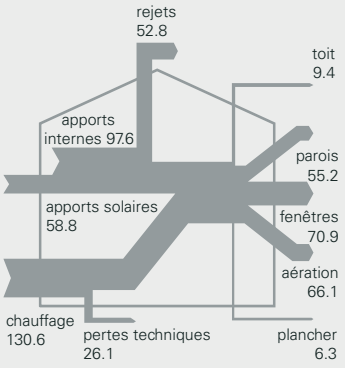
Mur pignon
. Crépi 10 mm
. Isolation polystyrène expansé, λ = 0.036 W/mK, 220 mm
. Mur béton armé 430 mm
. Crépi 10 mm

Dalle sur rez-de-chaussée
. Parquet collé, 20 mm
. Dalle béton armé, 160 mm
. Isolation laine minérale, λ = 0.04 W/mK, 100 mm
. Faux-plafond suspendu plaques de plâtre gypsées 25 mm

Extrait de la coupe façade rue présentant les propositions d'intervention du scénario 2.

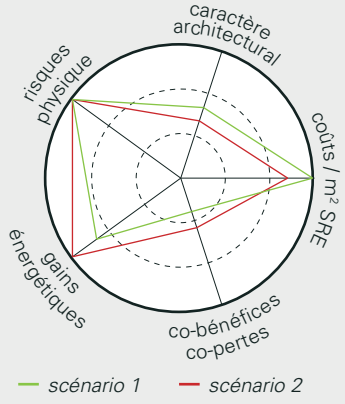


EXISTANT Diagramme de Sankey en MJ/m². La valeur limite SIA 380/1 est de 108.3 MJ/m² et les besoins de chauffage sont de 334.8 MJ/m².



SCÉNARIO 2 Diagramme de Sankey en MJ/m². La valeur limite SIA 380/1 est de 108.3 MJ/m² et les besoins de chauffage sont de 104.4 MJ/m².

Part des pertes par les ponts thermiques: 25.8 % (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.

Coûts totaux (T.T.C):
Scénario 1: 1'400'500 CHF
Scénario 2: 1'895'500 CHF

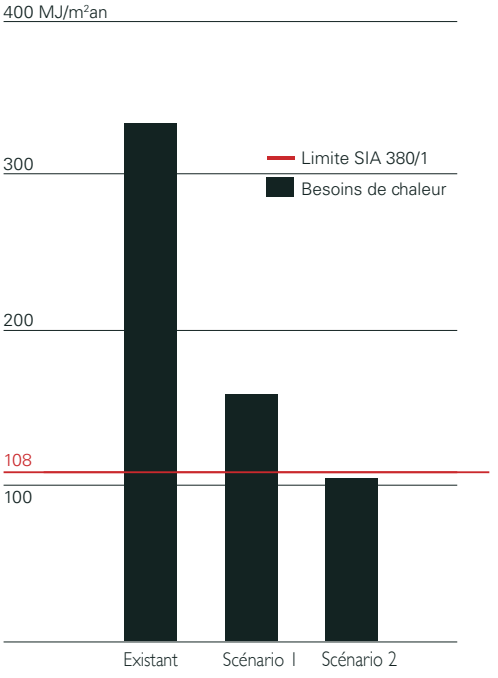
Coût / m² de SRE (T.T.C):
Scénario 1: 500 CHF
Scénario 2: 675 CHF

Coût / m² d'éléments (T.T.C):
Toiture: -
Façades et fenêtres:
Scénario 1: 625 CHF
Scénario 2: 930 CHF
Dalle sur espace non-chauffé:
355 CHF

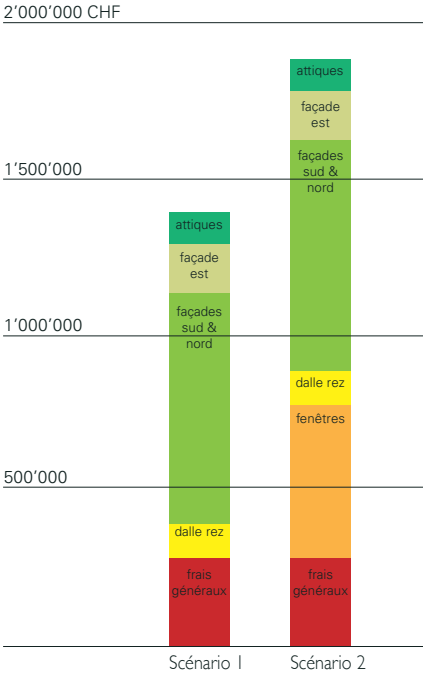
LES SCÉNARIOS

Scénario 1: 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 176 MJ/m², soit 76%, pour un investissement de 74% des coûts totaux du scénario 2. Il ne permet pas de satisfaire aux exigences de la norme SIA 380/1.

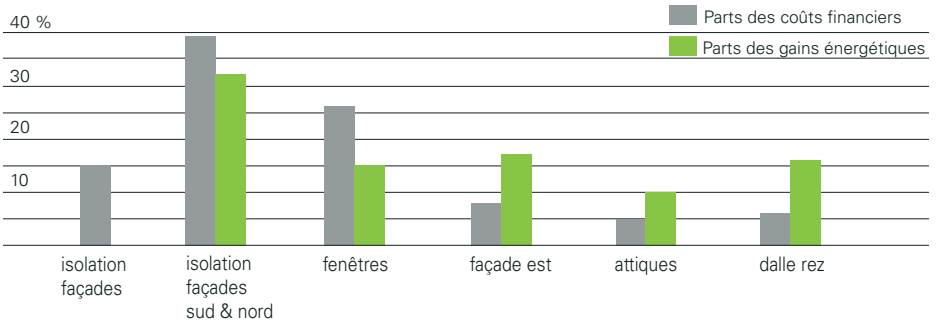
Scénario 2: il reprend les mesures prévues du scénario 1 en y ajoutant le remplacement des fenêtres par des cadres bois-métal avec verre isolant triple pour permettre d'atteindre la valeur-limite. Il apporte un gain énergétique de 230.4 MJ/m², soit 69%.



Graphique des besoins de chaleur de l'état existant et des scénarios.



Graphique des coûts financiers de chaque scénario répartis par éléments.



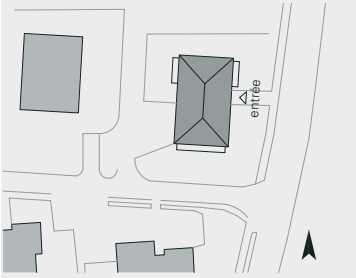
Graphique représentant la part des coûts et les gains énergétiques par mesure d'intervention pour le scénario 2.

CONCLUSION

Les scénarios proposés permettent de conserver les principales caractéristiques architecturales du bâtiment. La façade se développant en retrait par rapport au premier plan des balcons, elle offre la possibilité d'intervenir de manière plus «classique» sur ce bâtiment, à savoir en l'isolant par l'extérieur, sans toutefois supprimer les ponts thermiques liés à la continuité des dalles entre les balcons et l'intérieur des appartements, mais en diminuant les risques de condensation ainsi que les pertes thermiques. Le premier scénario est le plus cohérent sur le plan économique mais ne permet pas de répondre aux exigences de la norme SIA 380/1. Le deuxième scénario le permet, mais au prix d'investissements financiers plus conséquents.

CARACTÉRISTIQUES

Situé dans une commune à l'ouest de Lausanne, l'immeuble non-contigu, est implanté sur une grande parcelle entourée de plusieurs bâtiments d'habitation hétéroclites. Les quatre étages de trois appartements, reposent sur un rez-de-chaussée partiellement enterré dans lequel s'organisent les locaux techniques, les garages et un espace commercial. La construction est simple et économique. Tous les appartements possèdent des balcons en saillie réalisés avec une dalle en béton en porte-à-faux. Un garde-corps métallique surmonte les parapets en béton lavé préfabriqués. Les tablettes continues en ciment et les linteaux en béton peint lient les fenêtres et soulignent l'horizontalité du volume. Les murs de façade crépis d'une trentaine de centimètres d'épaisseur sont composés d'un mur porteur extérieur en brique et d'un doublage intérieur. Quelques centimètres de laine de verre entre les deux servent d'isolation thermique. Les porte-à-faux de la dalle des combles en béton armé servent d'avant-toit. Ils permettent d'intégrer un chéneau encaissé et atténuent la visibilité d'une toiture en pente couverte de tuiles. Seule la partie de la dalle contre le terrain du local commercial est « isolée » avec deux centimètres de liège. Les fenêtres ont été remplacées récemment par des châssis en PVC avec un double verre isolant. Les ouvertures sont obscurcies par des volets à rouleau montés dans un caisson intérieur.



Situation 1: 2'000

Année de construction	1972
Surface bâtie [m2]	358
Nombre de logements	15
Nombre de commerces	1
Surface référence énergétique (SRE) [m²]	1'446
Surface d'enveloppe développée [m²]	1'625
Facteur de forme	1.02
Consommation moyenne d'énergie [KWh/an]	204'648
Besoins de chauffage «relevé» [MJ/(m²an)]	334
Besoins de chauffage «calculé» [MJ/(m²an)]	328
Production de chaleur	Chaudière à mazout
Distribution de chaleur	Radiateurs avec vannes thermostatiques



toiture
à faible pente couverte de tuiles

dalle des combles
en béton armé, isolation ultérieure par-dessus, porte-à-faux pour l'avant-toit

espace extérieur
balcon en porte-à-faux avec dalle en béton armé et garde-corps en béton lavé

embrasure
crépie

dalle d'étage
béton armé

protection solaire
volets à rouleau avec caisson intérieur

bandeau
tablette en ciment

mur de façade
maçonnerie crépie avec une faible isolation (2 à 6 cm) et doublage intérieur

dalle sur sous-sol
béton armé sans isolation

Extrait de la façade ouest.

Mur de façade
Umes : 0.52 W/m²K (±14%)
Ucal existant : 0.56 W/m²K
Ucal rénové : 0.15 W/m²K



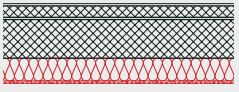
. Isolation 35 +180 mm
. Enduit 8 mm
. Briques T.C. creuses 180 mm
. Isolation laine minérale 40 mm
. Pare-vapeur, feuille alu
. Briques T.C. creuses 60 mm
. Enduit plâtre ~6 mm

Mur de façade socle
Ucal existant: 0.70 W/m²K
Ucal rénové: 0.30 W/m²K



. Enduit 8 mm
. Béton armé 250 mm
. Laine minérale (démontée)
. Pare-vapeur (démonté)
. Briques T.C. creuses (démontées)
. Enduit plâtre ~6 mm (démonté)
. Isolation 120 mm
. Pare-vapeur

Dalle sur locaux non-chauffés
Ucal existant: 1.52 W/m²K
Ucal rénové: 0.28 W/m²K



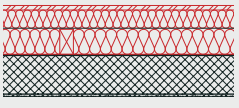
. Revêtement sol ~10 mm
. Chape ciment 60 mm
. Sous-couche séparation
. Béton armé 170 mm
. Isolation 100 mm

Dalle sur terrain (commerces)
Ucal existant: 1.40 W/m²K



. Revêtement sol ~10 mm
. Liège 20 mm
. Etanchéité
. Béton armé 80 mm
.Empierrement 150 mm

Toiture, dalle des combles
Ucal existant: 0.49 W/m²K
Ucal rénové: 0.15 W/m²K

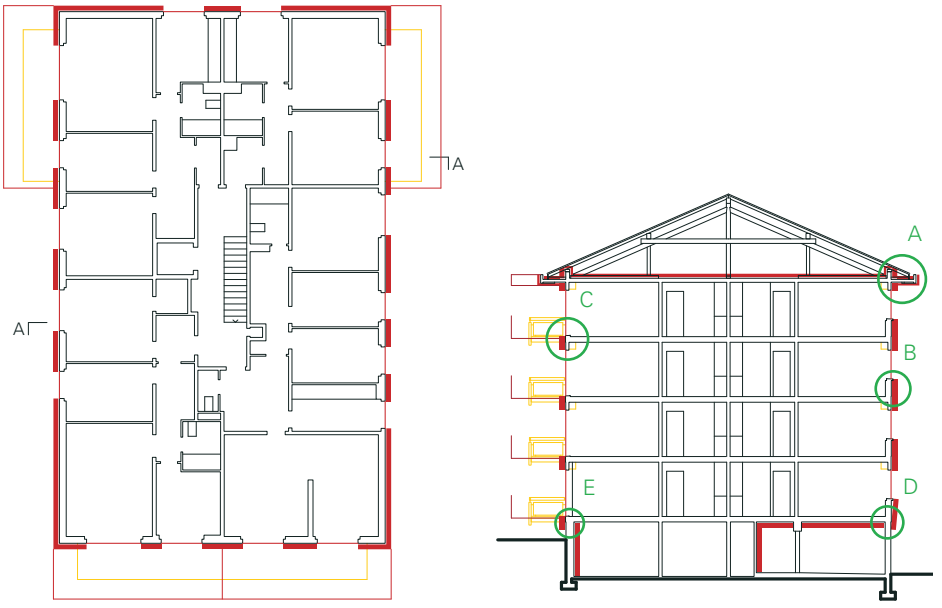


. Isolation 120 + 80 mm
. Pare-vapeur
. Isolation 60 mm (démontée)
. Dalle béton armé 170 mm
. Enduit plâtre ~6 mm

Fenêtres
Ug existant: 1.1 W/m²K
Uf existant: 2.0 W/m²K
g existant: 0.55
Ug rénové: 0.7 W/m²K
Uf rénové: 1.1 W/m²K
g rénové: 0.6

STRATÉGIE D'INTERVENTION

Le contexte bâti et les caractéristiques architecturales peu marquantes du bâtiment ont conduit à proposer une nouvelle enveloppe pour le bâtiment. Elle modifie entièrement l'aspect du bâtiment et améliore ses performances énergétiques. Elle enveloppe les quatre étages supérieurs du bâtiment. Les locaux non-chauffés du rez-inférieur ne sont pas isolés. Seuls les murs du local commercial sont isolés à l'intérieur. Les balcons sont remplacés par de nouveaux éléments indépendants de la construction. Ils offrent un espace extérieur plus généreux à chaque appartement et permettent la résolution des ponts thermiques des dalles en béton armé.



Plan et coupe schématiques. En rouge, les éléments de l'enveloppe isolés dans le scénario d'intervention n°1. En vert, les raccords caractéristiques du bâtiment.

INTERVENTIONS PAR ÉLÉMENTS

Murs : une isolation en fibres de bois de 180 mm + 35 mm est posée à l'extérieur des 4 étages supérieurs. Elle est revêtue d'un bardage en bois ventilé. Une isolation en verre cellulaire est posée à l'intérieur des murs du local commercial. Les murs contre les espaces non-chauffés du rez-de-chaussée sont isolés avec 120 mm de laine minérale.

Dalle sur sous-sol et combles : une isolation de 120 + 80 mm en laine minérale remplace l'isolation existante de 60 mm posée sur la dalle des combles. Une isolation de 100 mm en laine minérale est posée sous la dalle sur rez-de-chaussée dans les locaux non-chauffés. L'isolation de la dalle inférieure du local commercial n'est pas renforcée.

Espaces extérieurs : les dalles continues en béton armé des balcons existants sont sciées. Les balcons sont démontés et remplacés par de nouveaux éléments dissociés de la façade et structurellement indépendants.


Façade sud


Combles


Balcons sud

DÉTAILS – SCÉNARIO 1

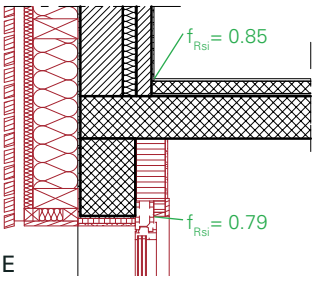
A L'isolation existante des combles est démontée. La mise en oeuvre du pare-vapeur et de l'isolation aux raccords de la sablière doit être réalisée soigneusement. L'importante épaisseur d'isolation nécessite la modification de l'escalier escamotable d'accès. Afin d'éviter une température de surface trop faible dans l'angle intérieur, la dalle de l'acrotère en béton armé est isolée par-dessus et par-dessous.

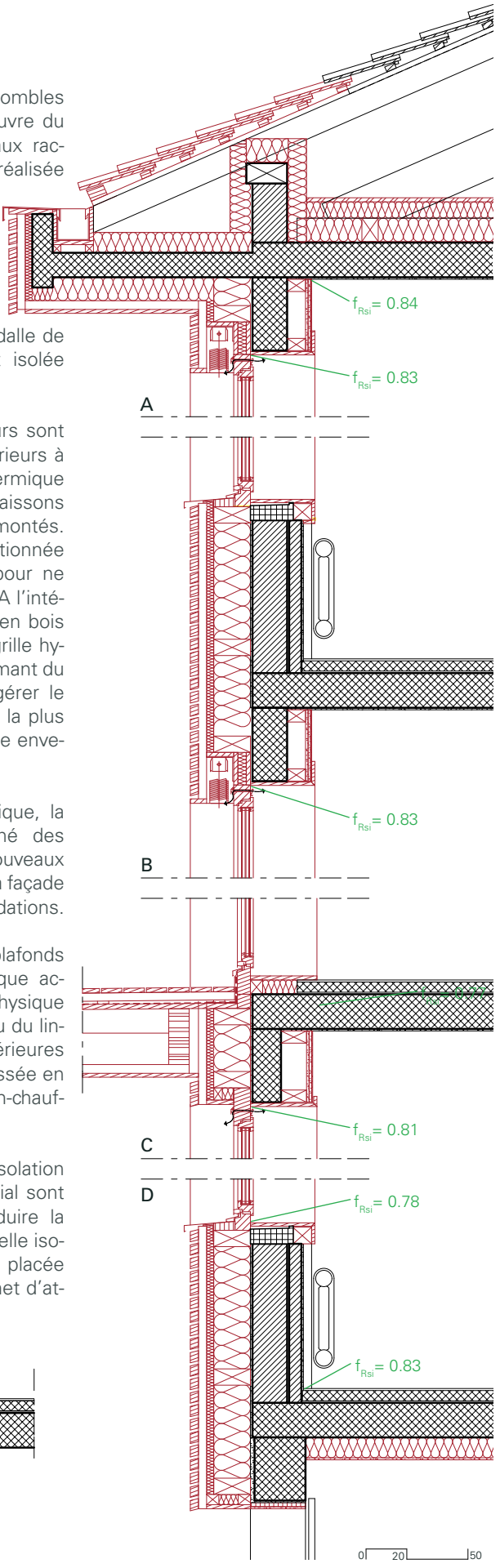
B Les volets à rouleau intérieurs sont remplacés par des stores extérieurs à lamelles pour éviter le pont thermique des caissons de store. Les caissons de store intérieurs sont démontés. La nouvelle fenêtre est positionnée à l'extérieur du mur porteur pour ne pas réduire le vide de lumière. A l'intérieur, une nouvelle embrasure en bois reprend les irrégularités. Une grille hygroréglable insérée dans le dormant du cadre de fenêtre permet de gérer le renouvellement d'air réduit par la plus grande étanchéité de la nouvelle enveloppe.

C Pour réduire le pont thermique, la dalle continue en béton armé des balcons est sciée. Les nouveaux balcons sont indépendants de la façade et portent sur leurs propres fondations.

D Une isolation est posée aux plafonds des garages. Un pont thermique acceptable du point de vue de la physique du bâtiment demeure au niveau du linteau en béton. Les parois intérieures du hall d'entrée du rez-de-chaussée en contact avec des espaces non-chauffées sont isolées.

E Le doublage intérieur et l'isolation des façades du local commercial sont démontés afin de ne pas réduire la surface avec la pose de la nouvelle isolation. Une isolation de 20 mm placée sous le linteau de fenêtre permet d'atténuer le pont thermique.





Raccord façade / dalle des combles
. Panneau d'aggloméré, 22 mm
. Ossature, isolation laine minérale, λ = 0.034 W/mK, 80 mm
. Ossature, isolation laine minérale, λ = 0.035 W/mK, 120 mm
. Pare-vapeur
. Isolation 60 mm et panneaux agglomérés (démontés)
. Dalle en béton armé 170 mm
. Enduit plâtre 6 mm

Caisson de store
. Bardage bois 40 mm
. Lattage bois 40 mm
. Store à lamelles extérieur
. Cadre de fenêtre bois isolé 75 mm
. Linteau en béton armé 170 mm
. Caisson store intérieur (démonté)
. Lattage bois 90 mm
. Panneau de plâtre fibré 2x10 mm
. Lissage plâtre

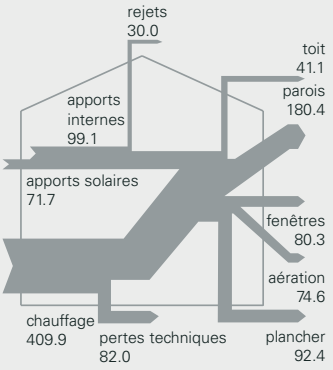
Contre-coeur façade
. Bardage bois 40 mm
. Lattage bois 40 mm
. Isolation coupe-vent en fibres de bois, λ = 0.047 W/mK, 35 mm
. Ossature, isolation fibres de bois λ = 0.038 W/mK, 180 mm
. Enduit extérieur 8 mm
. Briques T.C. creuses 180 mm
. Briques T.C. creuses 60 mm
. Enduit plâtre 6 mm

Façade
. Bardage bois 40 mm
. Lattage bois 40 mm
. Isolation coupe-vent en fibres de bois, λ = 0.047 W/mK, 35 mm
. Ossature, isolation fibres de bois λ = 0.038 W/mK, 180 mm
. Enduit extérieur 8 mm
. Briques T.C. creuses 180 mm
. Isolation laine de verre 40 mm
. Pare-vapeur feuille alu
. Briques T.C. creuses 60 mm
. Enduit plâtre 6 mm

Façade local commercial (E)
. Enduit extérieur 8 mm
. Béton armé 250 mm
. Isolation laine de verre 40 mm (démontée)
. Pare-vapeur feuille alu (démonté)
. Briques T.C. creuses 60 mm (démontées)
. Enduit plâtre 6 mm (démonté)
. Isolation verre cellulaire λ = 0.040 W/mK, 120 mm
. Crépi 7 mm

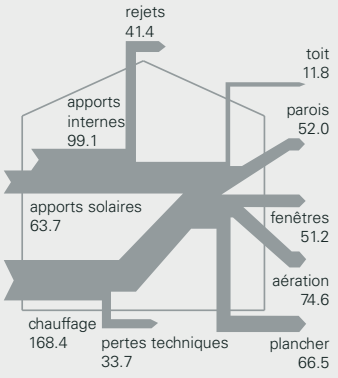
Dalle sur locaux non-chauffés
. Parquet collé 10 mm
. Chape ciment 60 mm
. Couche de séparartion
. Dalle en béton armé 170 mm
. Isolation laine minérale, λ = 0.035 W/mK, 100 mm
. Crépi 7 mm

Coupe de la façade ouest et extrait coupe de la façade sud du scénario 1.



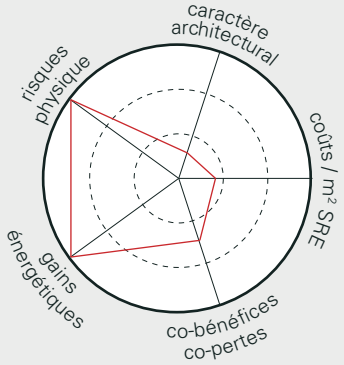
EXISTANT Diagramme de Sankey en [MJ/m²]. La valeur limite SIA 380/1 est de 140 MJ/m² et les besoins de chaleur de chauffage sont de 327.9 MJ/m².

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



SCÉNARIO 1 Diagramme de Sankey en [MJ/m²]. La valeur limite SIA 380/1 est de 141.3 MJ/m² et les besoins de chaleur de chauffage sont de 134.7 MJ/m².

Part des pertes par les ponts thermiques: 11.4% (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 total (T.T.C.):
Scénario 1: 1'715'000 CHF

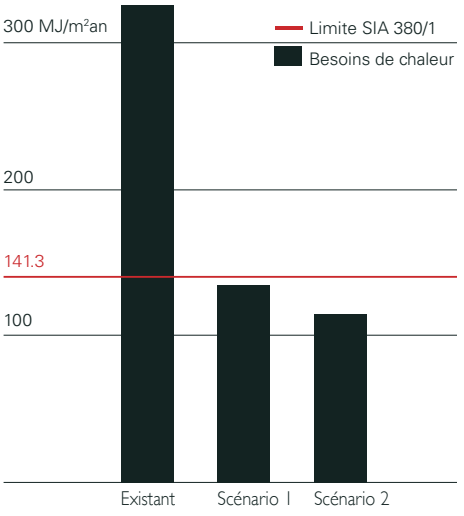
Coût / m² de SRE (T.T.C.):
Scénario 1: 1'155 CHF

Coût / m² d'éléments (T.T.C.):
Toiture: 340 CHF
Façades:
avec les balcons 1'515 CHF
sans les balcons 1'165 CHF

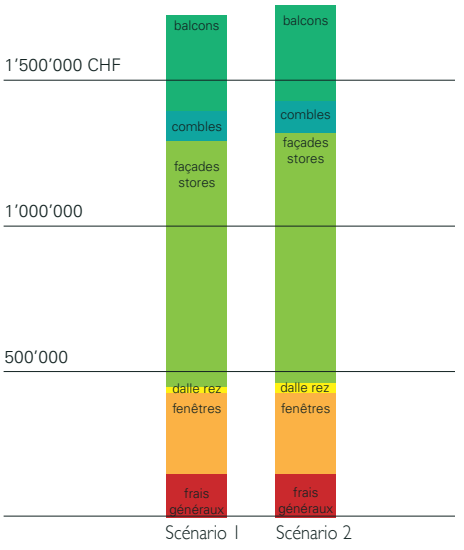
LES SCÉNARIOS

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

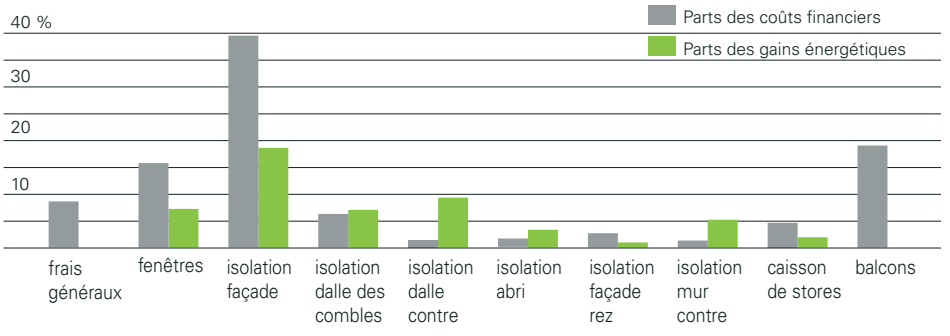
Scénario 2: il reprend le scénario 1 et intègre l'isolation des murs et du plafond de l'abri. Ce scénario n'a pas été retenu car cette isolation ne s'avère pas nécessaire pour atteindre la valeur-limite SIA 380/1. De plus l'isolation de l'abri doit être démontable. Avec un besoin de chaleur pour le chauffage de 115,5 MJ/m², il apporterait une amélioration énergétique de 65 %.



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



Graphique des coûts financiers de chaque scénario répartis par éléments.



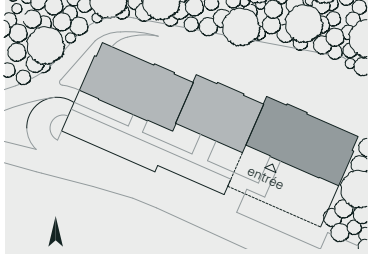
Graphique représentant la part des coûts et les gains énergétiques par mesure d'intervention.

CONCLUSION

L'architecture du bâtiment est intégralement modifiée. Une importante amélioration énergétique est mise en oeuvre avec une nouvelle enveloppe extérieure. Le scénario atteint ainsi aisément la limite de la norme SIA 380/1. Une isolation deux fois plus épaisse a été jugée inappropriée car elle n'apportait qu'un gain énergétique supplémentaire de 2,8%. L'option de ne pas intégrer l'ensemble des locaux au volume isolé nécessite une isolation des murs intérieurs et des plafonds du rez-de-chaussée situés contre des espaces non-chauffés. Les ponts thermiques sont fortement réduits en remplaçant les balcons et les stores existants, ce qui représente une part importante des coûts, près de 24%, pour un gain énergétique d'environ 2%. Cependant les balcons plus généreux offrent une plus-value aux appartements. Les coûts de l'isolation des planchers sont faibles, ils se limitent à l'investissement de l'isolation des plafonds des garages. Les planchers du rez-de-chaussée ne sont pas isolés. Cette approche qui modifie le caractère du bâtiment est retenue dans la plupart des projets actuels. Nous l'avons intégrée à notre étude pour que cette dernière ne fasse pas l'impasse sur un choix actuellement en vogue mais les critères de définition actuels de la qualité architecturale sont susceptibles de changer.

CARACTÉRISTIQUES

L'immeuble est implanté en périphérie de la ville de Fribourg, sur un terrain en forte déclivité à la lisière d'une forêt. Il termine un ensemble de trois unités de hauteur variable qui s'assemblent avec un léger glissement en plan pour former une barre. Il comprend douze étages d'appartements, quatre étages partiellement enterrés dont trois accueillent des appartements et un sous-sol. Les 65 appartements s'organisent autour d'un noyau de circulation verticale en façade nord. Les façades nord et sud contrastent par leur langage architectural. Au nord, la façade apparaît austère avec ses multiples alignements de percements, sans balcons ni espaces de vie. Au sud, l'expression massive des façades construites en béton structuré est animée par les généreux balcons en porte-à-faux. Les garde-corps sont en aluminium avec un remplissage en verre coloré. L'expression des dalles en béton souligne les étages en façade. Elles reposent sur les murs porteurs extérieurs en béton apparent, doublés d'une isolation en laine de verre de quelques centimètres et d'un galandage de plâtre. Les stores à rouleau obscurcissent les fenêtres, tandis que des stores à lamelles sont installés aux portes-fenêtres. Une isolation a été posée il y a quelques années sur la toiture plate recouverte de gravier. La dalle de toiture en saillie est réalisée en béton et se termine par un acrotère. Les fenêtres, composées d'un châssis en bois et de deux verres non isolés, ont été partiellement remplacées.



Situation 1: 2'000 0 5 20

Année de construction	1975
Surface bâtie [m²]	379
Nombre de logements	65
Surface référence énergétique (SRE) [m²]	5'065
Surface d'enveloppe développée [m²]	4'206
Facteur de forme	0.73
Consommation moyenne d'énergie [KWh/an]	862'021
Besoins de chauffage «relevé» [MJ/(m²an)]	468
Besoins de chauffage «calculé» [MJ/(m²an)]	330
Production de chaleur	Chaudière à mazout
Distribution de chaleur	Radiateurs avec ou sans vannes thermostatiques



toiture
plate, dalle en béton armé sans isolation (isolation ultérieure posée par-dessus)

mur de façade
béton armé apparent avec une faible isolation (2 à 4 cm) et un doublage intérieur

dalle d'étage
béton armé avec tête de dalle apparente

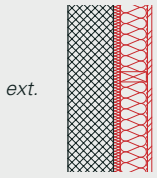
protection solaire
volets à rouleau avec caisson intérieur

espace extérieur
balcons en saillie, dalle de béton armé en porte-à-faux, garde-corps métallique

protection solaire
stores à lamelles

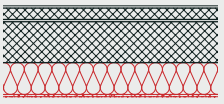
Extrait de la façade sud-ouest.

Mur de façade
Umes : 0.46 W/m²K (±13%)
Ucal existant : 0.45 W/m²K
Ucal rénové : 0.19 W/m²K



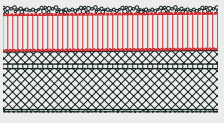
. Béton apparent 200 mm
. Isolation 60 mm (démontée)
. Pare-vapeur aluminium (démonté)
. Doublage plâtre 60 mm (démonté)
. Enduit plâtre ~3 mm (démonté)
. Isolation 30 + 120 mm
. Pare-vapeur

Dalle sur sous-sol
Ucal existant: 2.57 W/m²K
Ucal rénové: 0.20 W/m²K



. Parquet
. Chape ciment ~60 mm
. Couche séparation
. Dalle béton armé 180 mm
. Isolation 140 mm

Toiture, dalle des combles
Ucal existant: 1.0 W/m²K
Ucal rénové: 0.15 W/m²K



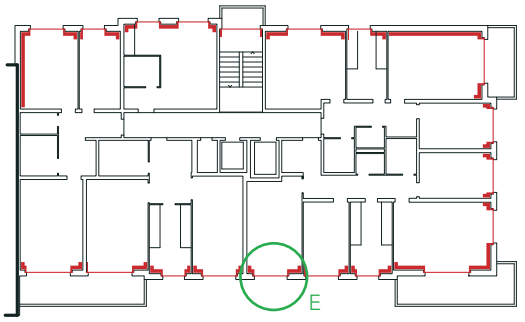
. Etanchéité
. Isolation 160 mm
. Barrière-vapeur
. Chape ciment 60 mm
. Etanchéité
. Couche séparation liège ~20 mm
. Dalle béton armé 180 mm
. Enduit plâtre ~6 mm

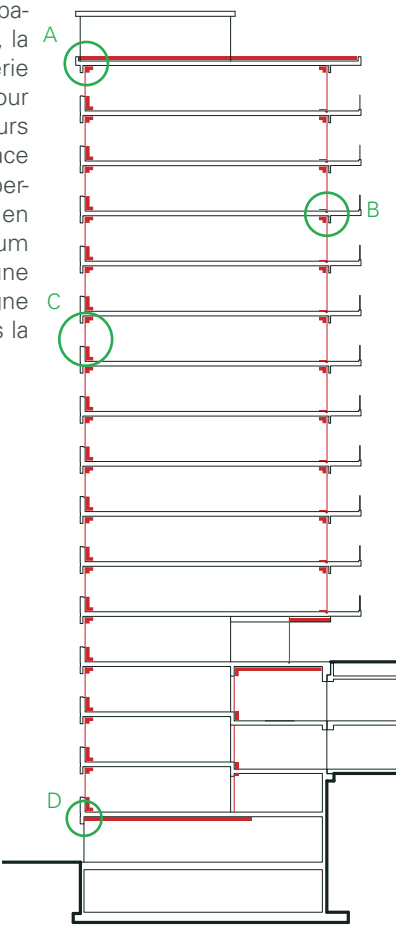
Fenêtres
Ug existant: 3.2 W/m²K
Uf existant: 2.1 W/m²K
g existant: 0.75
Ug rénové: 0.6 W/m²K
Uf rénové: 1.1 W/m²K
g rénové: 0.67

. Cadre rénové en PVC ou bois
. Verre isolant double rénové ou deux verres sans isolation d'origine
. Cadre en bois
. Verre isolant triple

STRATÉGIE D'INTERVENTION

Afin de conserver l'enveloppe en béton apparent structuré présentant des qualités de résistance et de durabilité intéressante, la stratégie d'intervention propose la mise en place d'éléments intérieurs en bois isolés. L'intervention intérieure permet une flexibilité des travaux selon les appartements et selon leur occupation. Les éléments intègrent les prises électriques, la fenêtre, le store, la ventilation, le chauffage, la galerie à rideau. Leur profondeur de 40 cm, nécessaire pour atténuer les ponts thermiques inférieurs et supérieurs au raccord de la dalle, permet d'accueillir un espace de rangement. Le grand nombre de logements permet d'envisager une préfabrication de ces modules en série afin d'obtenir une qualité de réalisation optimum du point de vue de la physique du bâtiment et une réduction des coûts. Cette intervention s'accompagne d'une isolation sur la toiture plate existante et sous la dalle des logements en contact avec les garages.





Plan et coupe schématiques. En rouge, les éléments de l'enveloppe isolés dans le scénario d'intervention. En vert, les raccords caractéristiques du bâtiment.

INTERVENTIONS PAR ÉLÉMENTS

Murs : le doublage en plâtre et la faible isolation intérieure existante sont démontés afin de ne pas perdre trop de surface. Ils sont remplacés par des éléments en bois isolés avec 30 + 120 mm d'épaisseur de laine minérale. Dans les étages partiellement enterrés, une isolation de 160 mm de laine minérale est posée contre les murs des garages en contact avec les espaces chauffés.

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.
La hauteur des garages permet de mettre en place 140 mm de laine minérale sous les dalles situées contre les logements.

Espaces extérieurs : aucune intervention sur les balcons n'est réalisée.
Les murs et le plafond de l'espace d'entrée sont doublés avec une isolation de 160 mm de laine minérale recouverte d'un bardage en bois ventilé.


Façade nord-est


Toiture


Balcons sud-ouest

DÉTAILS – SCÉNARIO 2

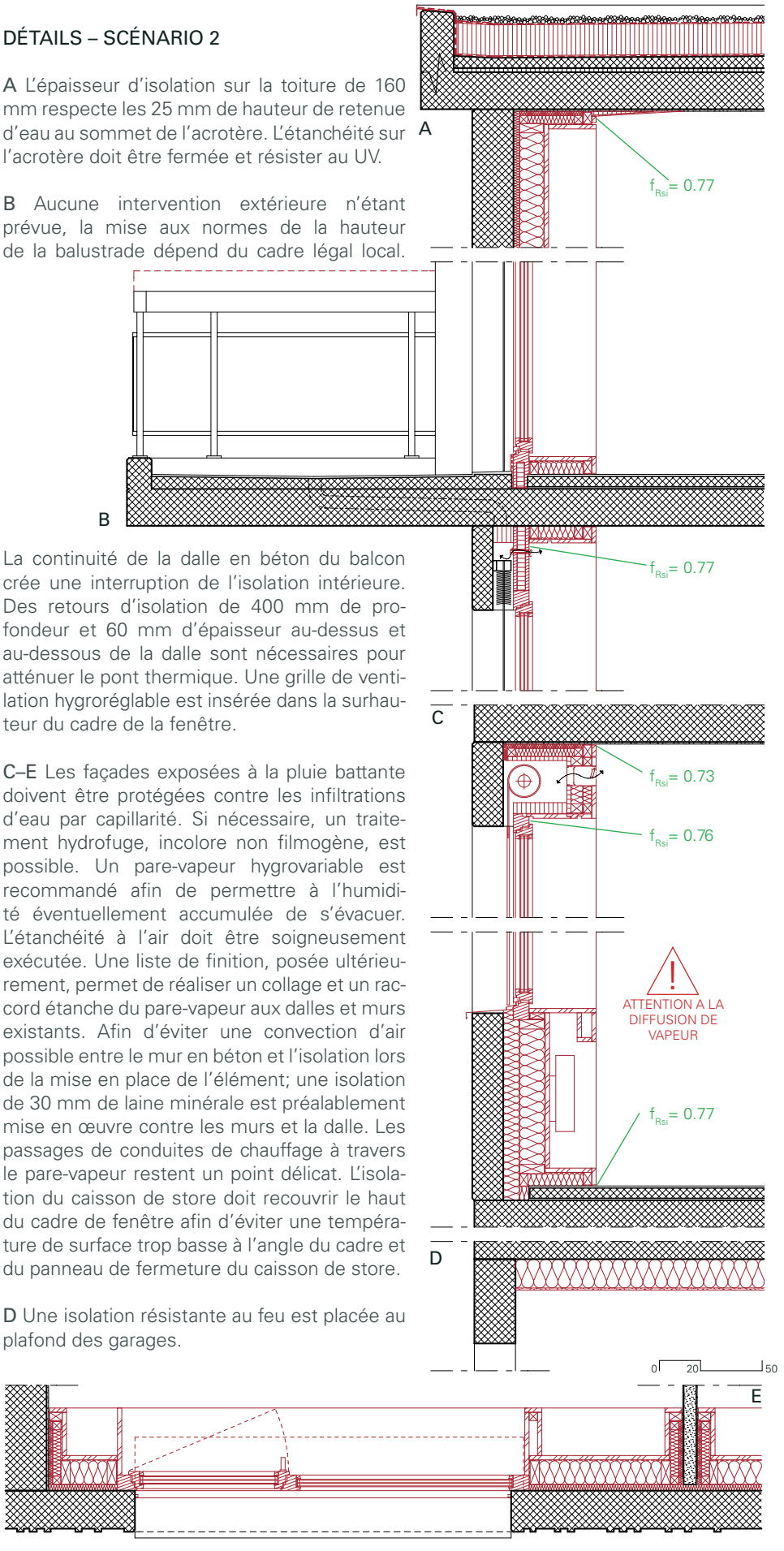
A L'épaisseur d'isolation sur la toiture de 160 mm respecte les 25 mm de hauteur de retenue d'eau au sommet de l'acrotère. L'étanchéité sur l'acrotère doit être fermée et résister au UV.

B Aucune intervention extérieure n'étant prévue, la mise aux normes de la hauteur de la balustrade dépend du cadre légal local.

La continuité de la dalle en béton du balcon crée une interruption de l'isolation intérieure. Des retours d'isolation de 400 mm de profondeur et 60 mm d'épaisseur au-dessus et au-dessous de la dalle sont nécessaires pour atténuer le pont thermique. Une grille de ventilation hygroréglable est insérée dans la surhauteur du cadre de la fenêtre.

C–E Les façades exposées à la pluie battante doivent être protégées contre les infiltrations d'eau par capillarité. Si nécessaire, un traitement hydrofuge, incolore non filmogène, est possible. Un pare-vapeur hygrovariable est recommandé afin de permettre à l'humidité éventuellement accumulée de s'évacuer. L'étanchéité à l'air doit être soigneusement exécutée. Une liste de finition, posée ultérieurement, permet de réaliser un collage et un raccord étanche du pare-vapeur aux dalles et murs existants. Afin d'éviter une convection d'air possible entre le mur en béton et l'isolation lors de la mise en place de l'élément; une isolation de 30 mm de laine minérale est préalablement mise en œuvre contre les murs et la dalle. Les passages de conduites de chauffage à travers le pare-vapeur restent un point délicat. L'isolation du caisson de store doit recouvrir le haut du cadre de fenêtre afin d'éviter une température de surface trop basse à l'angle du cadre et du panneau de fermeture du caisson de store.

D Une isolation résistante au feu est placée au plafond des garages.



Raccord façade / dalle toiture
. Gravier 50 mm
. Étanchéité
. Isolation polystyrène extrudé, λ = 0.029 W/mK, 160 mm
. Bariière-vapeur 3 mm
. Chape ciment, 60 mm
. Liège, 20-30 mm
. Béton armé, 180 mm
. Enduit plâtre, 7 mm
. Isolation d'angle en polyuréthane rigide, doublée d'un pare-vapeur, λ = 0.03 W/mK, 30 x 100 cm, 20 à 3 mm

Dalle de terrasse
. Carrelage 10 mm
. Chape de pente en ciment., 60 mm
. Béton armé apparent 180 mm

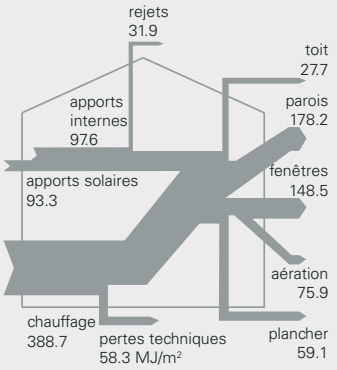
Raccord mur / dalle
. Béton armé 180 mm
. Isolation laine minérale sur 400 mm de profondeur , λ = 0.032 W/mK, 60 mm
. Pare-vapeur à diffusion d'humidité variable permettant l'assèchement
. Panneau multiplis, 21 mm
. Grille de ventilation hygroréglable dans la surhauteur de cadre

Caisson de store
. Béton armé apparent 150 mm
. Vide pour store
. Panneau fibres tendres 20 mm
. Isolation laine minérale, λ = 0.032 W/mK, 60 mm
. Pare-vapeur à diffusion d'humidité variable permettant l'assèchement
. Isolation laine minérale, λ = 0.032 W/mK, 40 mm
. Panneau multiplis, 21 mm
. Grille de ventilation hygroréglable dans la partie du caisson de store

Dalle sur espace non-chauffé
. Parquet collé ~10 mm
. Chape ciment 60 mm
. Couche séparation
. Béton armé apparent 180 mm
. Isolation laine minérale incombustible avec couche de laine de bois liée au ciment de 1 mm , λ = 0.034 W/mK, 140 mm

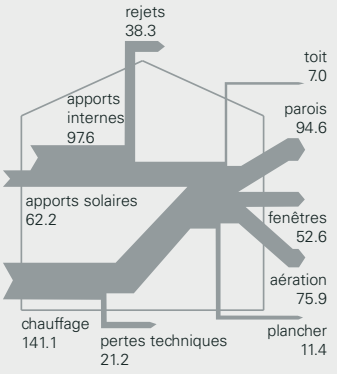
Mur de façade
. Béton armé apparent 200 mm
. Isolation laine minérale, λ = 0.032 W/mK, 30 mm
. Isolation laine minérale, λ = 0.032 W/mK, 120 mm
. Pare-vapeur à diffusion d'humidité variable permettant l'assèchement
. Panneau multiplis, 21 mm

Extrait de plan du 2e étage et extrait de coupe de la façade sud-ouest du scénario 2.



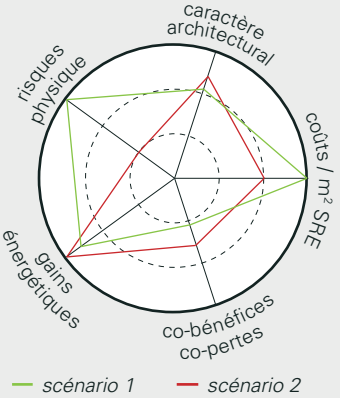
EXISTANT Diagramme de Sankey en [MJ/m²].La valeur limite SIA 380/1 est de 121.0 MJ/m² et les besoins de chaleur de chauffage sont de 330.4 MJ/m².

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



SCÉNARIO 2 Diagramme de Sankey en [MJ/m²]. La valeur limite SIA 380/1 est de 121 MJ/m² et les besoins de chaleur de chauffage sont de 119.9 MJ/m².

Part des pertes par les ponts thermiques: 38.3% (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 total (T.T.C.):
Scénario 1: 1'725'000 CHF
Scénario 2: 4'055'000 CHF

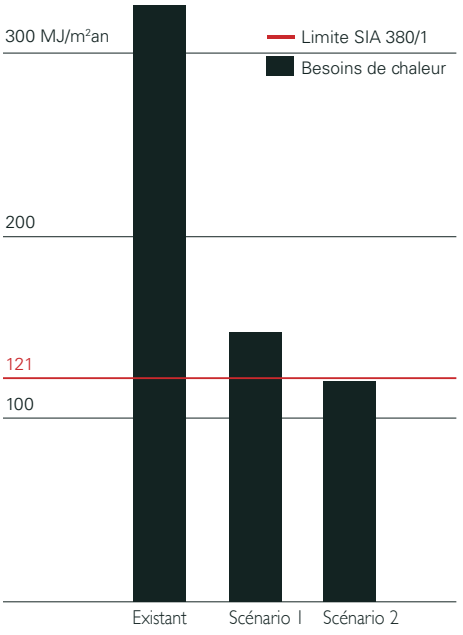
Coût / m² de SRE (T.T.C.):
Scénario 1: 340 CHF
Scénario 2: 800 CHF

Coût / m² d'éléments (T.T.C.):
Toiture: 760 CHF
Façades:
scénario 2: 1'130 CHF
Dalle sur espace non-chauffé:
330 CHF

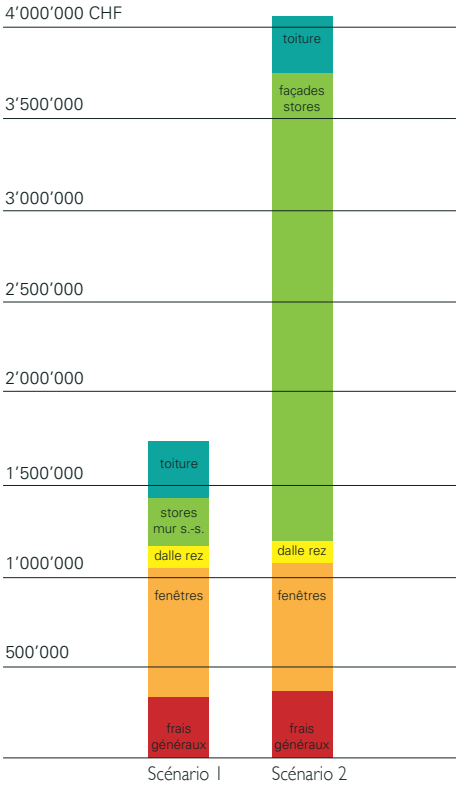
LE SCÉNARIO

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

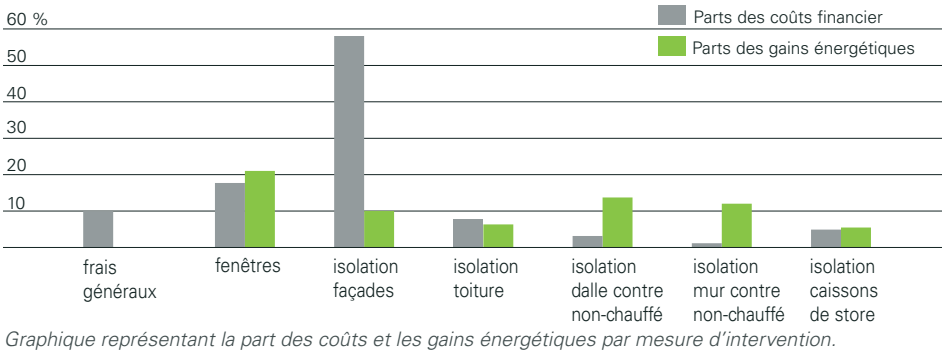
Scénario 2: il intègre les mesures du scénario et ajoute l'isolation intérieure des murs par des éléments multifonctionnels préfabriqués et l'isolation extérieure du volume d'entrée. Le scénario atteint juste la valeur-limite SIA 380/1 de 121.6 MJ/m². Il apporte un gain énergétique de 210 MJ/m², soit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



Graphique des besoins de chaleur de l'état existant et des scénarios.



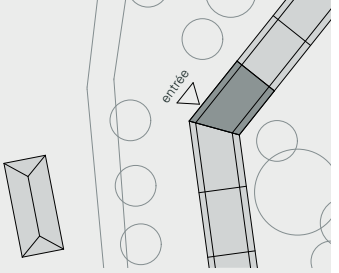
Graphique des coûts financiers répartis par éléments pour chaque scénario.



Graphique représentant la part des coûts et les gains énergétiques par mesure d'intervention.

CONCLUSION

Les éléments d'isolation intérieurs de façade intégrant plusieurs fonctions engendrent un investissement financier important (57%) par rapport aux gains énergétiques (10%). Cependant ils offrent une plus-value fonctionnelle aux appartements, ils évitent toute intervention à l'extérieur. Sans cette mesure, le scénario 1 apporterait tout de même 86% des gains énergétiques nécessaires, avec 42% de l'investissement financier. L'importante épaisseur d'isolation intérieure en façade nécessaire pour atteindre la limite de la norme SIA 380/1 implique une étude physique approfondie et une mise en œuvre soignée des détails constructifs. Une grande part des pertes (plus de 38%) est due aux ponts thermiques des dalles en béton continues et de certains murs porteurs intérieurs. Ils sont tout de même réduits par un retour d'isolation intégré dans l'élément préfabriqué.



Situation 1: 2'000 0 5 20

CARACTÉRISTIQUES

Le bâtiment analysé se situe en périphérie de Genève. Il fait partie intégrante d'une grande barre pliée dont la longueur totale excède 200 mètres. Il se développe sur 9 étages et un niveau d'attique en retrait. La structure est constituée de dalles et de murs de refends en béton armé, stabilisés par un noyau de circulations verticales. Les façades, très régulières, sont composées d'éléments préfabriqués en béton (en bon état) ancrés en tête de dalle. Ces éléments biseautés (épaisseur diminuant vers l'intérieur) confèrent à la façade une structure et une épaisseur propices aux jeux d'ombre et de lumière. La façade est rythmée par de petites loggias-balcons au droit des cuisines dont les garde-corps sont en béton préfabriqué et verre. Au rez-de-chaussée, des colonnes en béton aux formes sculpturales portent le bâtiment, la façade du rez se situant en retrait de l'alignement des colonnes. Le rez-de-chaussée n'est pas habité. La toiture en pente abrite un espace de combles non-chauffés. Ce bâtiment est caractérisé par la répétition des éléments préfabriqués en série : on ne compte que deux dimensions différentes d'éléments de façade. Les caractéristiques plastiques du béton sont partout mises à l'honneur, que ce soit dans le traitement des façades, des colonnes au rez-de-chaussée ou encore des garde-corps.

Année de construction	1971
Surface bâtie [m²]	370
Nombre de logements	40
Surface référence énergétique (SRE) [m²]	3'539
Surface d'enveloppe développée [m²]	2'216
Facteur de forme	0.65
Consommation moyenne d'énergie [KWh/an]	503'294
Besoins de chauffage «relevé» [MJ/(m²an)]	335
Besoins de chauffage «calculé» [MJ/(m²an)]	325
Production de chaleur	Chaudière à distance (cadiom)
Distribution de chaleur	Radiateurs avec vannes thermostatiques



attique
en retrait de la façade, façade béton coulé

cheminée
béton préfabriqué

espace extérieur
balcons-loggia, dalle béton, garde-corps en béton préfabriqué et verre

façades
panneaux de béton préfabriqué

dalle d'étage
béton préfabriqué

volet à rouleau
avec caisson intérieur

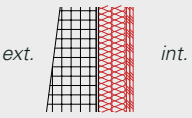
fenêtres
d'origine, cadres bois-métal, verre isolant double

colonnes champignon
béton armé

dalle sur sous-sol
béton armé

Extrait de la façade nord-ouest.

Contrecœur de façade
Umes : 1.66 W/m²K
Ucal existant : 3.59 W/m²K
Ucal rénové v1 : 0.23 W/m²K



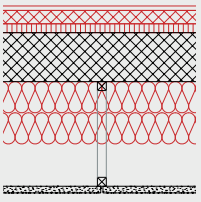
. Panneau de béton
. Isolation 120 mm
. Pare-vapeur

Contrecœur de façade attique
Ucal existant: 3.23 W/m²K
Ucal rénové: 0.20 W/m²K



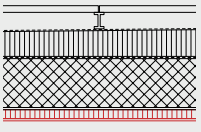
. Muret en béton
. Isolation 120 mm
. Pare-vapeur

Dalle sur rez-de-chaussée
Ucal existant: 0.30 W/m²K
Ucal rénové: 0.09 W/m²K



. Isolation 40 mm
. Dalle béton
. Isolation 280 mm
. Panneau en laine de bois

Terrasse de l'attique
Umes : 0.56 W/m²K
Ucal existant: 0.22 W/m²K
Ucal rénové: 0.17 W/m²K



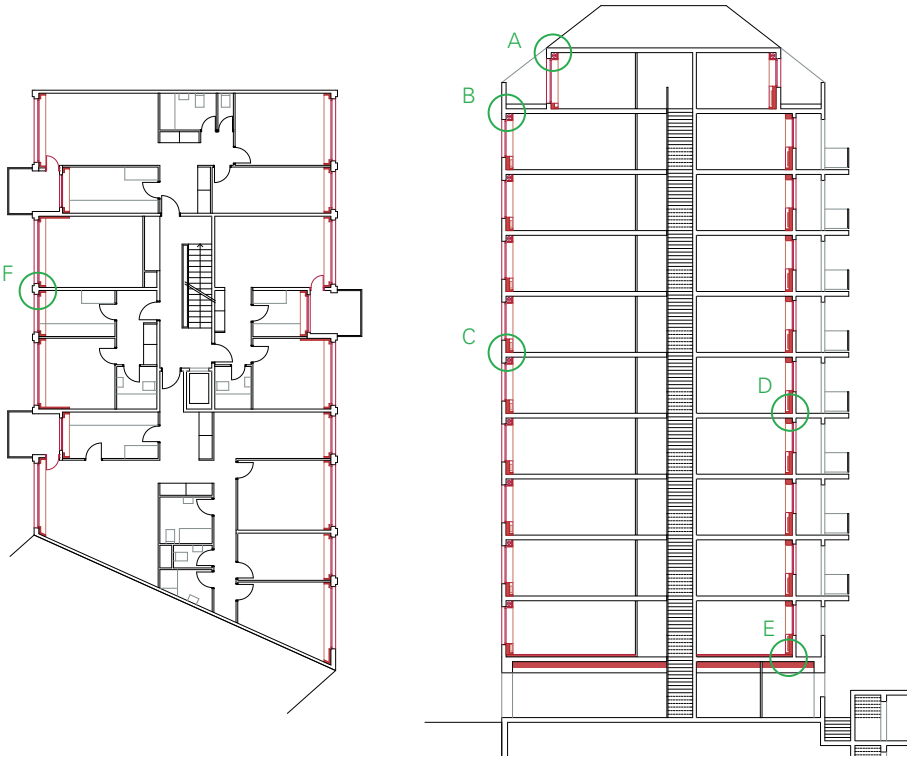
. Dallettes béton sur taquets
. Etanchéité
. Isolation
. Etanchéité
. Dalle béton
. Isolation 40 mm

Fenêtres
Uverre existant: 3.0 W/m²K
Ucadre existant: 1.9 W/m²K
g existant: 0.70
Uverre rénové: 0.6 W/m²K
Ucadre rénové: 1.2 W/m²K
g rénové: 0.70

. Cadres en bois-métal
. Verre isolant double
. Cadres en bois-métal
. Verre isolant triple

STRATÉGIE D'INTERVENTION

Les caractéristiques architecturales du bâtiment (loggias, embrasures en biseaux, ouvertures dans les angles sur les loggias, corniches, attique en retrait), sa forte expressivité et la durabilité de ses éléments de façade en béton préfabriqué plaident en faveur d'une isolation par l'intérieur. La stratégie adoptée consiste à installer des éléments préfabriqués (caissons en bois isolés) sur la face intérieure de l'enveloppe et à remplacer les fenêtres d'origine par des cadres bois-métal avec des verres isolants triples. L'effet de série et la préfabrication des caissons permettent un gain de temps, d'argent et une meilleure qualité d'exécution. Cette intervention conserve intégralement l'apparence externe du bâtiment.



Plan et coupe schématiques. En rouge, les éléments de l'enveloppe isolés dans le scénario d'intervention n°1. En vert, les raccords caractéristiques du bâtiment.

INTERVENTIONS PAR ÉLÉMENTS

Façade: des caissons en bois préfabriqués contenant une isolation de type laine minérale viennent prendre place à l'intérieur des appartements, contre la façade. Ces éléments accueillent les radiateurs et servent de supports aux nouvelles fenêtres tout en garantissant la continuité de l'isolation avec celles-ci.

Dalle sur rez et combles: la dalle des combles étant encombrée d'installations techniques, son isolation n'est pas privilégiée, d'autant que la toiture a été isolée récemment. La face inférieure de la dalle sur le rez-de-chaussée présente, quant à elle, un potentiel intéressant en terme d'isolation (faux-plafond existant).

Espaces extérieurs: aucune intervention particulière n'est prévue tant pour les loggias que pour les terrasses de l'attique qui ont été isolées récemment. Aucun rehaussement des garde-corps n'est donc requis.



Façade sud



Rez-de-chaussée



Attique

DÉTAILS

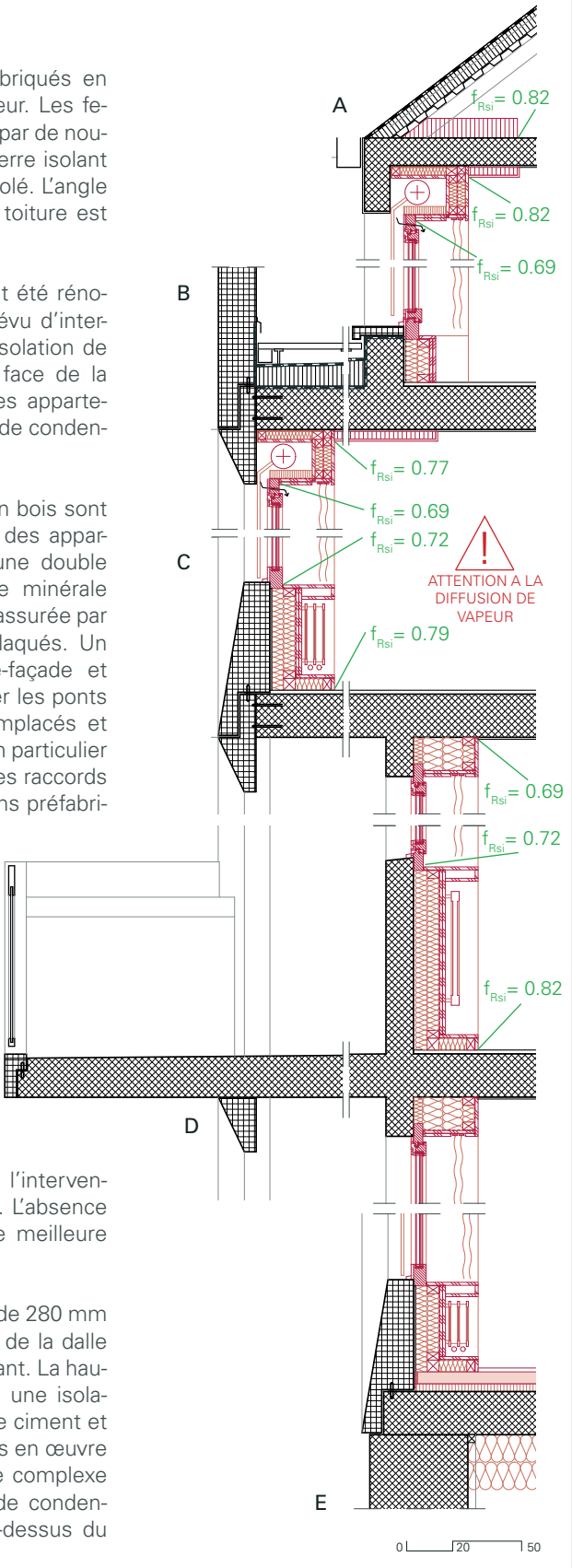
A En attique les caissons préfabriqués en bois prennent place en contrecœur. Les fenêtres d'origine sont remplacées par de nouvelles fenêtres bois-métal avec verre isolant triple. Le store est remplacé et isolé. L'angle entre la dalle des combles et la toiture est comblé d'isolation de type EPS.

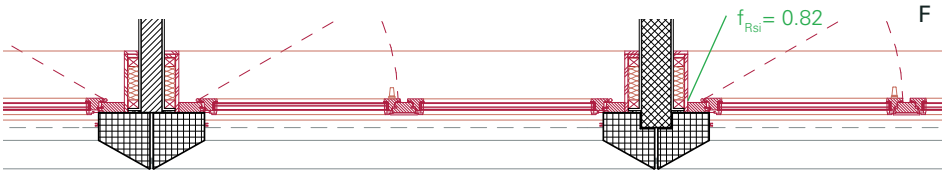
B Les terrasses de l'attique ayant été rénovées récemment, il n'est pas prévu d'intervenir à cet endroit. Un retour d'isolation de type XPS est exécuté en sous face de la dalle, au niveau des plafonds des appartements afin de réduire les risques de condensation superficielle.

C–F Des caissons préfabriqués en bois sont montés en applique à l'intérieur des appartements. Ils sont composés d'une double couche d'isolation de type laine minérale entre ossature et leur finition est assurée par deux panneaux de bois contreplaqués. Un retour d'isolation au raccord dalle-façade et en tête de murs permet de limiter les ponts thermiques. Les stores sont remplacés et leurs caissons sont isolés. Un soin particulier devra être porté à la réalisation des raccords par couvre-joints entre les caissons préfabriqués et les structures existantes, ainsi qu'à la pose du pare-vapeur du côté chaud de l'isolation. Une variante avec un isolant en verre cellulaire pourrait être envisagée afin de diminuer les risques liés aux difficultés de mise en œuvre du pare-vapeur. Par contre, ce type d'isolant est plus cher, moins bon thermiquement et nécessite d'être posé in situ.

D Au niveau des balcons-loggias, l'intervention est en tous points identique. L'absence de caisson de store permet une meilleure isolation derrière le sommier.

E Une isolation de laine minérale de 280 mm est mise en œuvre en sous-face de la dalle sur rez, dans le faux-plafond existant. La hauteur sous plafond le permettant, une isolation type polyuréthane, une chape ciment et un nouveau parquet collé sont mis en œuvre sur la dalle du premier étage. Ce complexe permet de supprimer le risque de condensation lié au pont thermique au-dessus du sommier en béton.





Dalle des combles
. Isolation polystyrène expansé, λ = 0.036 W/mK, 100 mm
. Dalle en béton armé 220 mm
. Crépi de finition 10 mm
. Isolation polystyrène expansé, λ = 0.03 W/mK, 40 mm
. Crépi de finition 10 mm

Dalle de terrasse
. Dallettes béton posées sur taquets 30 mm
. Étanchéité bitumineuse
. Isolation type polyuréthane, λ = 0.03 W/mK, 100-130 mm
. Barrière-vapeur
. Dalle béton armé 220 mm
. Plafond gypsé 10 mm
. Isolation polystyrène extrudé, λ = 0.03 W/mK, 40 mm
. Crépi de finition 10 mm

Caisson de store
. Linteau en béton armé coulé 140 mm
. Nouveau volet roulant
. Panneau de bois 15 mm
. Isolant laine minérale, λ = 0.032 W/mK, 30 mm
. Pare-vapeur
. Isolant type laine minérale, λ = 0.032 W/mK, 30 mm
. Panneau de bois contreplaqué 15 mm

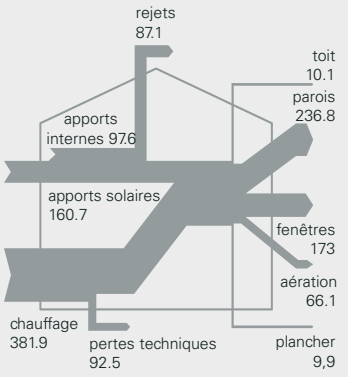
Mur de façade
. Panneau en béton préfabriqué 60-200 mm
. Crépi de finition
. Double couche d'isolant laine minérale entre construction en bois, λ = 0.032 W/mK, 2x60 mm
. Pare-vapeur
. Double panneau de bois contreplaqué

Linteau sous balcon
. Linteau en béton coulé 140 mm
. Isolant laine minérale, λ = 0.032 W/mK, 310 mm
. Pare-vapeur
. Panneau de finition 15 mm

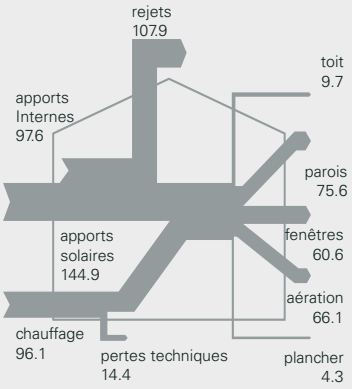
Contrecœur sur balcon
. Muret en béton coulé 140 mm
. Crépi de finition
. Double couche d'isolant laine minérale entre construction en bois, λ = 0.032 W/mK, 2x60mm
. Pare-vapeur
. Double panneau de bois contreplaqué

Dalle sur rez-de-chaussée
. Parquet collé 20 mm
. Chape ciment flottante 60 mm
. Isolation type polyuréthane, λ = 0.022 W/mK, 40 mm
. Dalle béton armé
. Isolation laine minérale entre sous-construction en bois, λ = 0.031 W/mK, 2x140 mm
. Panneau en laine de bois 30 mm

Extrait de la coupe et du plan de la façade nord présentant les propositions d'intervention

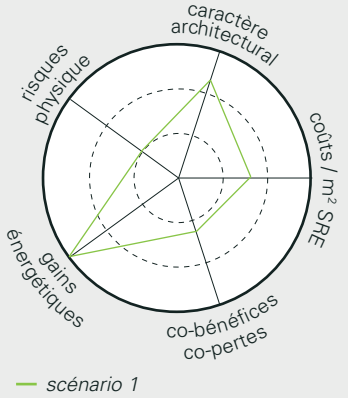


EXISTANT Diagramme de Sankey en MJ/m². La valeur limite SIA 380/1 est de 100.0 MJ/m² et les besoins de chauffage sont de 324.6 MJ/m².



SCÉNARIO 1 Diagramme de Sankey en MJ/m². La valeur limite SIA 380/1 est de 100.0 MJ/m² et les besoins de chauffage sont de 81.7 MJ/m².

Part des pertes par les ponts thermiques: 38.6 % (si l'on ne tient pas compte des pertes par aération).



— *scénario 1*

ÉVALUATIONS du scénario 1. Un résultat optimal devrait tendre vers une forme circulaire extérieure, sans point faible évident.

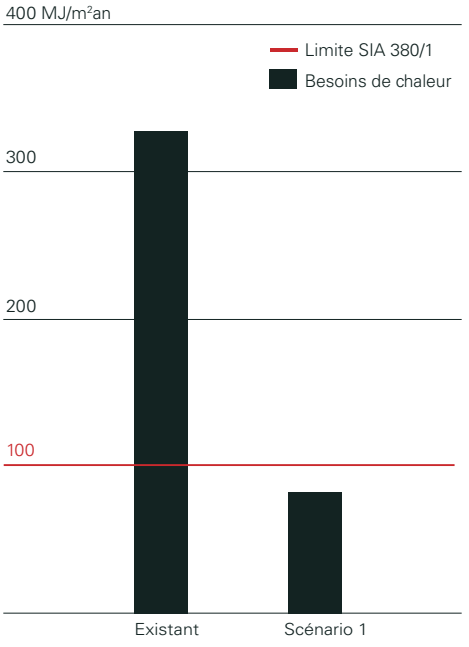
Coûts totaux (T.T.C):
Scénario 1: 3'266'000 CHF

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

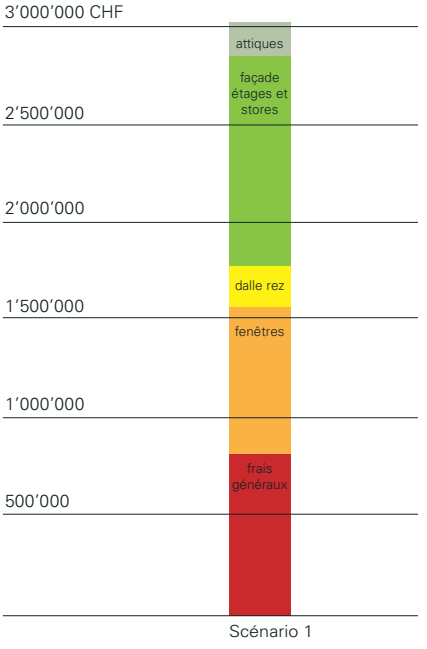
Coût / m² d'éléments (T.T.C):
Toiture: -
Façades et fenêtres: 1'430 CHF
Dalle sur espace non-chauffé:
570 CHF

LE SCÉNARIO

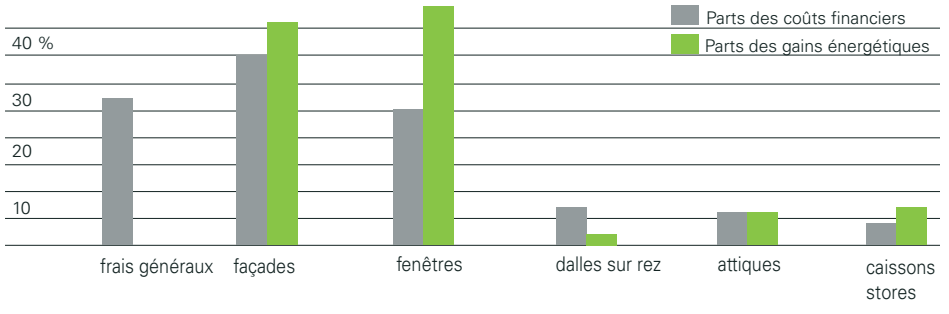
Scénario 1: il intègre l'isolation par l'intérieur des deux façades par les caissons en bois préfabriqués, l'isolation sous la dalle du premier étage, le remplacement des fenêtres d'origine, l'isolation des plafonds de l'étage sous la terrasse de l'attique, ainsi que les différents retours d'isolation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



Graphique des besoins de chaleur de l'état existant et des scénarios.



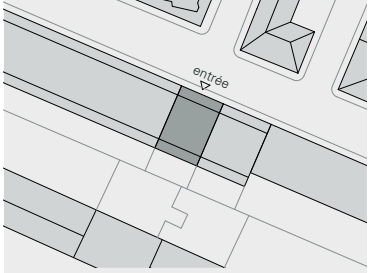
Graphique des coûts financiers répartis par éléments.



Graphique représentant la part des coûts et les gains énergétiques par mesure d'intervention pour le scénario 1.

CONCLUSION

L'intervention par l'intérieur est imposée par les formes complexes qu'affichent les façades. Ceci implique des coûts de réhabilitation élevés. La mise en place des caissons préfabriqués représente un coût égal à celui du remplacement des fenêtres. Le rapport entre le coût et le gain énergétique réalisé par ces deux mesures reste comparable et aucun des deux, pris individuellement, ne suffit pour atteindre les valeurs imposées par la norme SIA 380/1. Cette intervention majoritairement depuis l'intérieur nécessitera une planification fine et un soin particulier car il semble exclu de vider le bâtiment de ses occupants le temps du chantier. Le travail de préfabrication en atelier des caissons qui permet de réduire la durée d'intervention sur place prend là tout son sens. Dès lors, une attention particulière doit être portée à la conception de ce système et à son perfectionnement au travers d'un prototype avant travaux.



Situation 1: 2'000 0 5 20

CARACTÉRISTIQUES

Le bâtiment se situe au centre-ville de Genève. De plan rectangulaire (12x18m), il est mitoyen entre un hôtel et un immeuble de logement. Les façades sur rue (nord) et sur cour (sud) présentent exactement le même aspect. L'immeuble se développe sur 6 étages et un niveau d'attique en retrait. Les deux murs mitoyens complétés par un mur intérieur de refend ainsi qu'un noyau de circulation armé supportent les dalles, le tout est en béton armé. Les façades non porteuses sont composées de cadres bois-métal à remplissage en verre vision ou émaillé (parties opaques, avec sandwich isolant de quelques centimètres). Des garde-corps en verre structuré permettent l'ouverture sur toute la hauteur d'une porte-fenêtre dans certaines chambres. Au premier plan, un quadrillage régulier de tôles laquées structure la façade. Elles accueillent des stores à lamelles orientables et cachent la tête de dalle (en horizontal) ainsi que les descentes d'eau de pluie (en vertical). L'attique et la toiture sont construits en béton armé. Le rez-de-chaussée accueille quelques espaces communs ainsi qu'un restaurant. Les parties opaques partiellement arrondies de la façade sont en béton cannelé, coulé sur place et présentent un certain intérêt. Le bâtiment n'a jamais connu d'assainissement ou de rénovation depuis sa construction. Ses façades légères sont caractéristiques d'une certaine architecture des années 1960-80.

Année de construction	1980
Surface bâtie [m²]	306
Nombre de logements	14
Surface référence énergétique (SRE) [m²]	1'421
Surface d'enveloppe développée [m²]	896
Facteur de forme	0.78
Consommation moyenne d'énergie [KWh/an]	341'507
Besoins de chauffage «relevé» [MJ/(m²an)]	595
Besoins de chauffage «calculé» [MJ/(m²an)]	402
Production de chaleur	Chaudière à gaz
Distribution de chaleur	Radiateurs avec vannes thermostatiques



toiture
plate

attique
en retrait de la façade, façades béton

mur de refend
en béton armé

store à lamelles extérieur

façade
tôle aluminium laqué

façades
aluminium, verre émaillé

fenêtres
cadres bois-métal, double vitrage

dalle d'étage
béton armé

façade rez-de-chaussée
béton cannelé

dalle sur sous-sol
béton armé

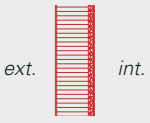
Extrait de la façade nord.

Mur de façade rez-de-chaussée
Ucal existant: 1.69 W/m²K
Ucal rénové: 0.16 W/m²K



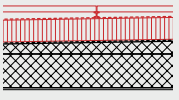
. Mur béton
. Lattage et isolation 80 mm
. Pare-vapeur
. Panneau bois

Contrecoeur de façade
Umes: 0.59 W/m²K (±15%)
Ucal existant: 0.64 W/m²K
Ucal rénové: 0.35 W/m²K



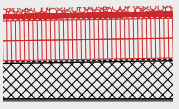
. Verre émaillé
. Isolation 16 cm
. Pare-vapeur
. Panneau de plâtre gypsé

Terrasses attique
Ucal existant: 0.89 W/m²K
Ucal rénové: 0.5 W/m²K



. Revêtement de sol
. Étanchéité
. Isolation 110 mm
. Pare-vapeur sur chape ciment
. Dalle béton

Toiture
Umes: 0.33 W/m²K (±15%)
Ucal existant: 0.89 W/m²K
Ucal rénové: 0.1 W/m²K



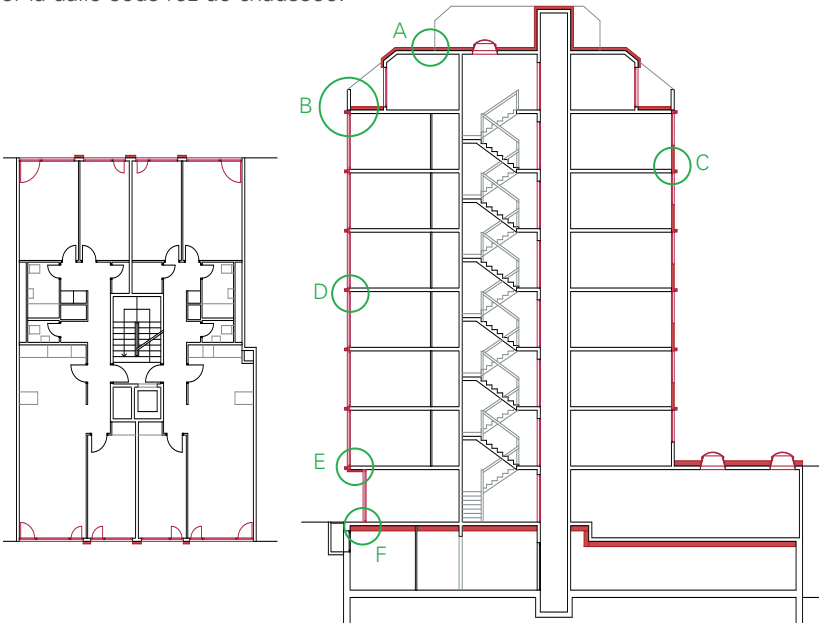
. Étanchéité
. Isolation 200 mm
. Pare-vapeur
. Dalle béton armé

Fenêtres
Uverre existant: 3 W/m²K
Ucadre existant: 1.9 W/m²K
g existant: 0.75
Uverre rénové: 0.6 W/m²K
Ucadre rénové: 1.2 W/m²K
g rénové: 0.45

. Cadres bois-métal
. Verre isolant double
. Cadres bois-métal
. Verre isolant triple

STRATÉGIE D'INTERVENTION - SCÉNARIO 2

Les caractéristiques constructives de la façade légère rendent pratiquement impossible leur assainissement. En effet, la façade est composée d'éléments préfabriqués légers qui associent fenêtre et contrecœur, excluant la possibilité d'intervenir de manière spécifique sur l'un d'eux. Si dans l'ensemble l'aspect de la façade mérite d'être conservé, ses qualités ne justifient toutefois pas qu'une restauration soit entreprise. La stratégie d'intervention prévoit le remplacement intégral de l'enveloppe. Planifiée correctement, cette intervention peut être exécutée en relativement peu de temps et sans devoir reloger les habitants. Le nu des tôles structurant la façade est déplacé vers l'extérieur pour permettre la mise en place d'une isolation coupant le pont thermique de la tête de dalle. Il est prévu d'isoler de manière plus conséquente les terrasses d'attique et les toitures, ces éléments n'ayant jamais subi aucun assainissement. Finalement, l'intervention prévoit d'isoler la dalle sous rez-de-chaussée.



Plan et coupe schématiques. En rouge, les éléments de l'enveloppe isolés dans le scénario d'intervention n°2. En vert, les raccords caractéristiques du bâtiment.

INTERVENTIONS PAR ÉLÉMENTS

Façade principale: les façades principales du bâtiment sont démontées et remplacées par de nouveaux cadres aluminium à rupture de pont thermique fixés entre dalles. On reprend en tous points l'expression des façades existantes, à l'exception d'une épaisseur d'isolation supérieure en contrecœur. Cette intervention est combinée à un changement complet des fenêtres (verre isolant triple).

Toiture et terrasses: le scénario d'intervention privilégié prévoit d'assainir complètement les terrasses des attiques, ainsi que les toitures du bâtiment. Une nouvelle isolation sera posée afin d'augmenter les performances thermiques. Toutes les coupoles en places seront également changées afin de privilégier des modèles récents, thermiquement plus performants.

Dalle du rez-de-chaussée: la face inférieure de la dalle du rez, majoritairement occupée par le restaurant est isolée. Les parois verticales contre l'extérieur sont isolées depuis l'intérieur (laine minérale et pare-vapeur), ce qui permet de maintenir apparent le béton cannelé. Les vitrines et portes sont également remplacées par de nouveaux éléments en cadre bois-métal, avec un verre isolant triple.


Intérieur d'un appartement


Toiture


Entrée

DÉTAILS - SCÉNARIO 2

A La toiture du bâtiment, ainsi que la toiture de la cour sur le restaurant font l'objet d'un assainissement complet, en raison de leur faible isolation thermique et leur vétusté. Un nouveau complexe d'isolation et d'étanchéité est posé sur l'étanchéité provisoire (qui fait office de barrière vapeur) du bâtiment. Le gravier existant est conservé et réutilisé pour protéger la nouvelle toiture.

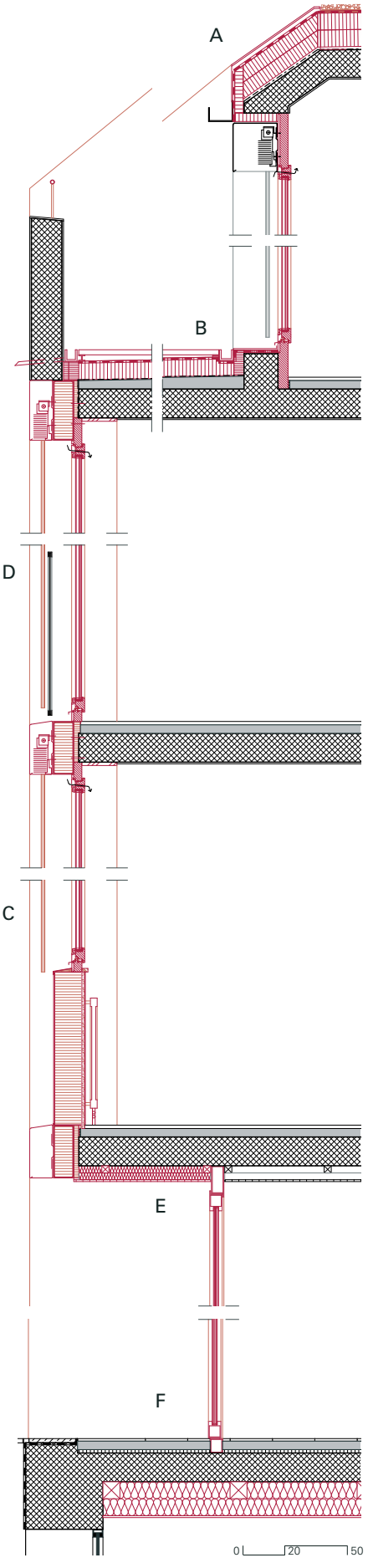
B Les terrasses des attiques font également l'objet d'un assainissement conséquent. Un nouveau complexe d'isolation et d'étanchéité est mis en place. Les dallettes béton sont nettoyées et reposées sur les taquets.

C Les façades nord et sud, parfaitement identiques, font l'objet d'une même intervention. Elle consiste en la dépose complète des anciennes façades (éléments opaques et vitrés) pour mettre en place une façade complètement nouvelle. La proportion de surfaces vitrées et opaques reste identique. Les parties vitrées sont composées de fenêtres bois-métal avec un verre isolant triple alors que les éléments de contre-coeur sont faits de panneaux sandwich comprenant un verre émaillé de finition extérieure, un noyau d'isolation, une cassette aluminium et enfin un panneau de plâtre gypsé en guise de finition intérieure. La continuité thermique entre étages est assurée par la présence d'une couche isolante en tête de dalle, protégée par une tôle aluminium thermolaquée formant le nouveau caisson de store à lamelles orientables.

D Les porte-fenêtres battantes sont également changées, suivant le même principe qu'évoqué ci-dessous. Les garde-corps en verre peuvent être conservés.

E Au rez-de-chaussée, les éléments vitrés tels que vitrines et portes-fenêtres sont changés pour privilégier des cadres bois-métal, verre isolant triple. Les parties opaques (mur en béton cannelé) seront isolées de l'intérieur. Une isolation est appliquée au plafond des parties en retrait du rez-de-chaussée (entrées) afin de garantir la continuité thermique dans ces zones.

F La dalle sur sous-sol est isolée par le dessous pour permettre d'extraire les locaux de services et les caves du volume chauffé du bâtiment.



Toiture
. Gravier 30 mm
. Sable 20 mm
. Etanchéité multicouche
. Isolation type polystyrène extrudé, λ = 0.036 W/mK, 200 mm
. Barrière vapeur
. Dalle béton 170 mm
. Plafond suspendu plaques de plâtre gypsées 25 mm

Terrasses attiques
. Dallettes béton sur taquets 30 mm
. Etanchéité multicouche
. Isolation type polystyrène extrudé, λ = 0.036 W/mK, 110 mm
. Barrière-vapeur
. Chape ciment de pente 50-80 mm
. Dalle béton armé 170 mm
. Plafond enduit 10 mm

Tête de dalle
. Caisson de store à lamelles 130 mm
. Isolation type laine minérale en fond de caisson de store, λ = 0.04 W/mK, 90 mm
. Isolation type laine minérale entre équerres de support des façades, λ = 0.04 W/mK, 60 mm
. Dalle béton armé

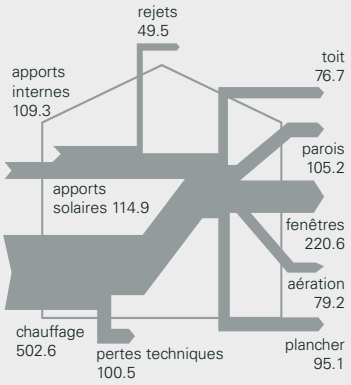
Contrecoeur façade rideau
. Verre émaillé 5 mm
. Isolation type laine de verre dans cassette métallique, λ = 0.04 W/mK, 160 mm
. Panneau de plâtre gypsé 20 mm
. Radiateur

Toiture commerce
. Gravier 30 mm
. Sable 20 mm
. Etanchéité multicouche
. Isolation type polystyrène extrudé, λ = 0.036 W/mK, 250 mm
. Barrière-vapeur
. Dalle béton armé 170 mm
. Faux-plafond plaques de plâtre 100 mm

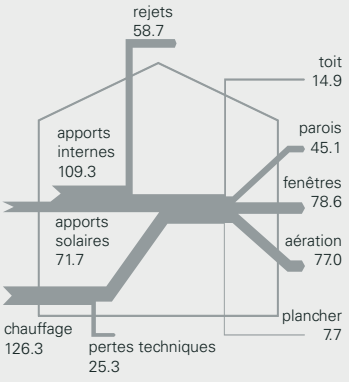
Façade rez-de-chaussée
. Mur béton cannelé coulé sur place 200 mm
. Lattage horizontal et isolation laine minérale, λ = 0.04 W/mK, 40 mm
. Lattage vertical et isolation laine minérale, λ = 0.04 W/mK, 40 mm
. Pare-vapeur
. Panneau de bois triplis 30 mm

Dalle sur sous-sol
. Carrelage collé, 20 mm
. Chape ciment, 50 mm
. Isolation phonique, 30 mm
. Dalle béton armé 170 mm
. Panneau isolant laine de bois 50 mm
. Isolation laine minérale, λ = 0.04 W/mK, 200 mm
. Crépi 10 mm

Extrait de la coupe façade rue présentant les propositions d'intervention du scénario 2.

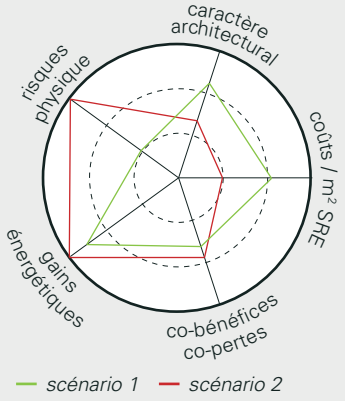


EXISTANT Diagramme de Sankey en MJ/m². La valeur limite SIA 380/1 est de 121.7 MJ/m² et les besoins de chauffage sont de 402.1 MJ/m².



SCÉNARIO 2 Diagramme de Sankey en MJ/m². La valeur limite SIA 380/1 est de 121.7 MJ/m² et les besoins de chauffage sont de 101.1 MJ/m²

Part des pertes par les ponts thermiques: 9.7% (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.

Coûts totaux (T.T.C.):
Scénario 1: 1'070'500 CHF
Scénario 2: 1'593'500 CHF

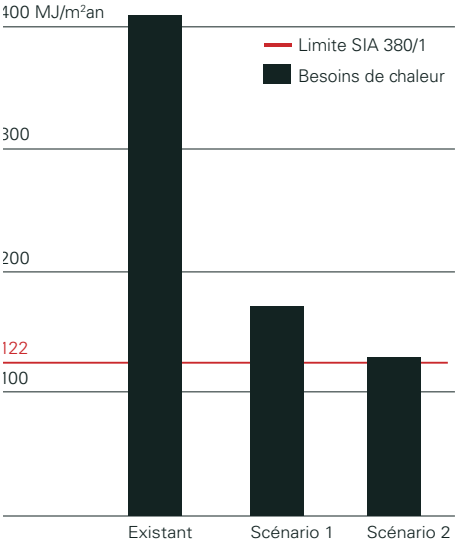
Coût / m² de SRE (T.T.C.):
Scénario 1: 755 CHF
Scénario 2: 1'085 CHF

Coût / m² d'éléments (T.T.C.):
Toiture: 955 CHF
Façades et fenêtres:
Scénario 1: 725 CHF
Scénario 2: 1'560 CHF
Dalle sur espace non-chauffé:
380 CHF

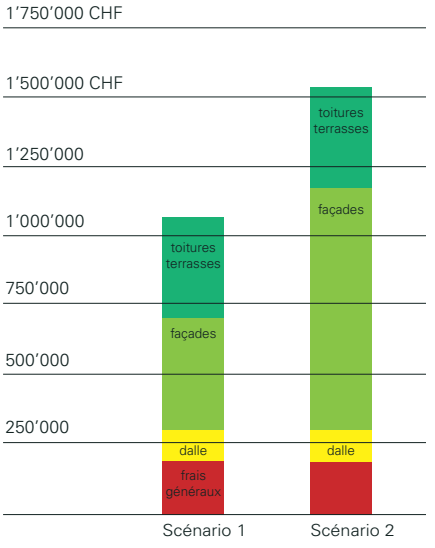
LES SCÉNARIOS

Scénario 1: il prévoit l'isolation des deux façades principales par l'intérieur, le changement des verres de fenêtre, l'isolation des terrasses et de la toiture du bâtiment, l'isolation des façades du rez-de-chaussée par l'intérieur, l'isolation sous dalle du rez-de-chaussée. Il apporte un gain énergétique de 234 MJ/m², soit 58%, pour un investissement de 67% des coût totaux du scénario 2.

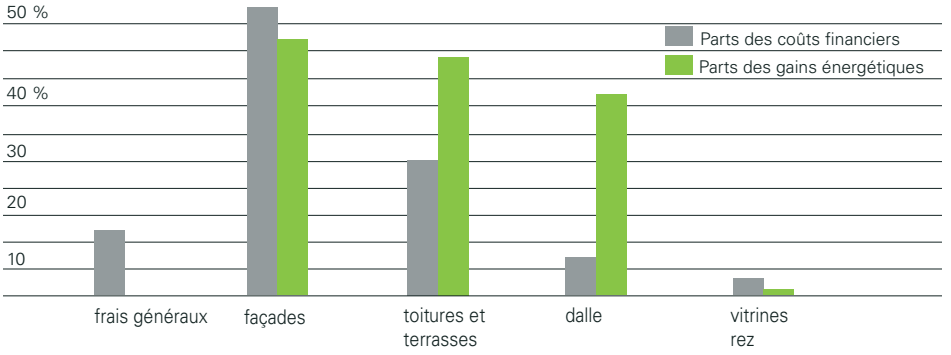
Scénario 2: il reprend les mesures du scénario 1 pour ce qui est de l'isolation des terrasses d'attique, de la toiture et du rez-de-chaussée. Par contre le remplacement intégral des éléments de façade est prévu. Ce scénario permet d'atteindre la valeur-limite. Il apporte un gain énergétique de 301 MJ/m²,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



Graphique des besoins de chaleur de l'état existant et des scénarios.



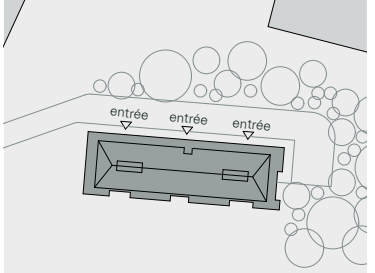
Graphique des coûts financiers de chaque scénario répartis par éléments.



Graphique représentant la part des coûts et les gains énergétiques par mesure d'intervention pour le scénario 2.

CONCLUSION

Le bilan énergétique existant de ce type d'enveloppe est mauvais: épaisseurs minimes, inertie nulle, probables infiltrations d'air. La solution consistant à remplacer intégralement l'ensemble des éléments de l'enveloppe semble la plus logique et la plus raisonnable car plus efficace et facile à mettre en œuvre. Elle permet de respecter l'expression originelle du bâtiment en proposant une nouvelle façade qui reprend presque tous ses points caractéristiques (composition, matériaux, détails architecturaux). Seule l'épaisseur du contre-cœur augmente, ce qui a pour effet de modifier légèrement le relief de la façade. Le faible poids des éléments de façade permet de limiter l'impact de leur remplacement sur les occupants. L'intervention sur la dalle sur sous-sol est la plus intéressante du point de vue du rapport investissement financier/gain énergétique, alors que l'assainissement des toitures et terrasses l'est moins. À noter encore que ce bâtiment engage une réflexion plus globale quant à la rénovation thermique d'un parc de bâtiment majeur à Genève: celui des immeubles de bureaux à façades rideau de la même époque qui sont légion.



Situation 1: 2'000 0 5 20

CARACTÉRISTIQUES

Le bâtiment étudié se situe dans un quartier résidentiel en limite du centre de Genève, à proximité d'un cordon boisé et d'une rivière. Il se présente comme un volume unique de 45 mètres de long pour une largeur de 17 mètres, caractérisé par de nombreux éléments en saillie (balcons, oriels). Les six niveaux sont construits sur un parking enterré. On compte encore un niveau d'attique en retrait, dont l'expression se détache fortement du reste du bâtiment. Au sud, à l'est et à l'ouest, de grands balcons de forme complexe, largements appropriés par les locataires animent la façade. Des murs de refend transversaux disposés entre allées, les noyaux de circulation verticale ainsi que les façades portent les dalles d'étage en béton armé. Le bâtiment, vieux de 27 ans, n'affiche que peu de signes de détérioration ou de vétusté. Les façades isolées sont protégées par des panneaux de béton préfabriqués, la toiture est entièrement couverte d'un placage en cuivre, les fenêtres et garde-corps sont en aluminium thermolaqué. L'expression architecturale et les matériaux choisis ancrent ce bâtiment dans son époque et dans son contexte : les quartiers résidentiels des années 1980.

Année de construction	1988
Surface bâtie [m²]	890
Nombre de logements	58
Surface référence énergétique (SRE) [m²]	5'215
Surface d'enveloppe développée [m²]	3'600
Facteur de forme	0.84
Consommation moyenne d'énergie [KWh/an]	752'312
Besoins de chauffage «relevé» [MJ/(m²an)]	341
Besoins de chauffage «calculé» [MJ/(m²an)]	317
Production de chaleur	Chaudière à gaz
Distribution de chaleur	Radiateurs avec vannes thermostatiques



toiture
en pente, en cuivre

attique
en retrait de la façade principale, façade en cuivre

espaces extérieurs
balcons, dalle béton, garde-corps en verre et acier peint

façade
béton préfabriqué

volet à rouleau
avec caisson intérieur

fenêtres
cadres bois-métal, double vitrage

dalle d'étage
béton armé

dalle sur sous-sol
béton armé

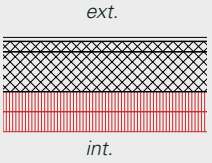
Extrait de la façade ouest.

Contrecoeur loggias sud
Ucal existant : - W/m²K
Ucal rénové : 0.17 W/m²K



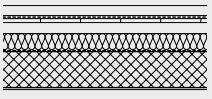
. Isolation 200 mm
. Pare-vapeur
. Élément béton préfabriqué 120 mm

Dalle rez-de-chaussée
Ucal existant: 2.18 W/m²K
Ucal rénové: 0.17 W/m²K



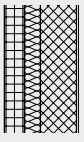
. Carrelage sur chape
. Dalle béton
. Isolation 200 mm

Toiture
Umes : 0.41 W/m²K
Ucal existant: 0.39 W/m²K



. Couverture cuivre
. Lambrissage sur lattage
. Isolation
. Dalle béton

Mur de façade
Umes : 0.43 W/m²
Ucal existant: 0.43 W/m²K



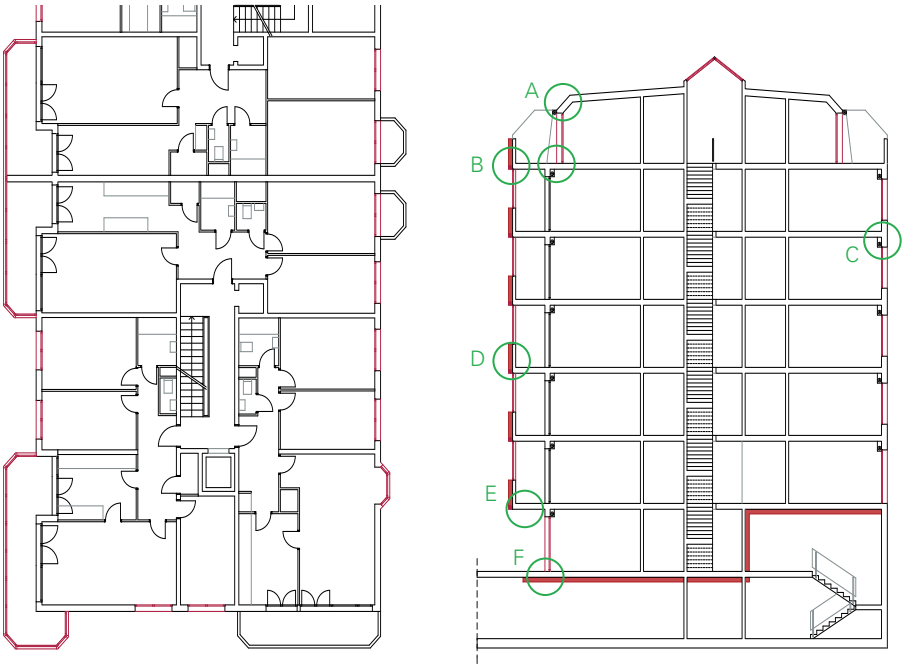
. Panneau de béton préfabriqué
. Isolation
. Mur béton armé

Fenêtres
Uverre existant: 3 W/m²K
Ucadre existant: 1.9 W/m²K
g existant: 0.75
Uverre rénové: 0.6 W/m²K
Ucadre rénové: 1.1 W/m²K
g rénové: 0.45

. Cadres bois-métal
. Verre isolant double
. Cadres bois-métal
. Verre isolant triple

STRATÉGIE D'INTERVENTION - SCÉNARIO 2

La stratégie d'intervention consiste à fermer les grands balcons en façade sud par de larges baies vitrées. Ce qui a aussi comme conséquence d'augmenter la SRE du bâtiment. Les fenêtres qui ne sont pas en lien avec un balcon, ou celles qui le sont mais dont le balcon n'est pas en façade sud, seront remplacées. Il est prévu d'isoler le sous-sol du volume chauffé des logements (dalle du rez avec éventuel déplacement des réseaux et murs du premier sous-sol). La toiture, relativement récente et de construction durable, n'est pas sujette à assainissement. Seuls les coupoles et verrières sont changées pour privilégier des éléments plus performants.



Plan et coupe schématiques. En rouge, les éléments de l'enveloppe isolés dans le scénario d'intervention n°2. En vert, les raccords caractéristiques du bâtiment.

INTERVENTIONS PAR ÉLÉMENTS

Façade principale : la fermeture des balcons en façade sud a été retenue. Elle permet de régler des questions assez complexes liées à la géométrie des balcons et de la façade. Les balcons sont fermés par des baies vitrées coulissantes et les parties pleines des garde-corps sont isolées de l'extérieur ce qui permet de couper le pont thermique de la dalle.

Sous-sol : le sous-sol est à demi enterré. Il comprend des logements en partie sud du premier sous-sol et des locaux non chauffés au nord et au deuxième sous-sol. Il est prévu de séparer distinctement ces deux zones par une isolation thermique autant horizontalement que verticalement, afin de garantir une continuité thermique autour du volume chauffé.

Attique et toiture : en attique, la seule intervention préconisée consiste en un remplacement des fenêtres existantes par des modèles plus performants, à cadres bois-métal, verre isolant triple. La toiture est conservée en l'état, car déjà isolée et ne présentant que peu de signes de vétusté. Les verrières seront changées pour privilégier des éléments plus performants.


Balcon, façade sud


Sous-sol


Toiture

DÉTAILS - SCÉNARIO 2

A La toiture et les terrasses du bâtiment sont conservées en l'état (bon état et caractère durable de leur construction). Ce choix s'inscrit également dans la cohérence économique du projet: l'assainissement de ces parties du bâtiment engagerait des moyens hors de proportion en regard du gain énergétique réalisé.

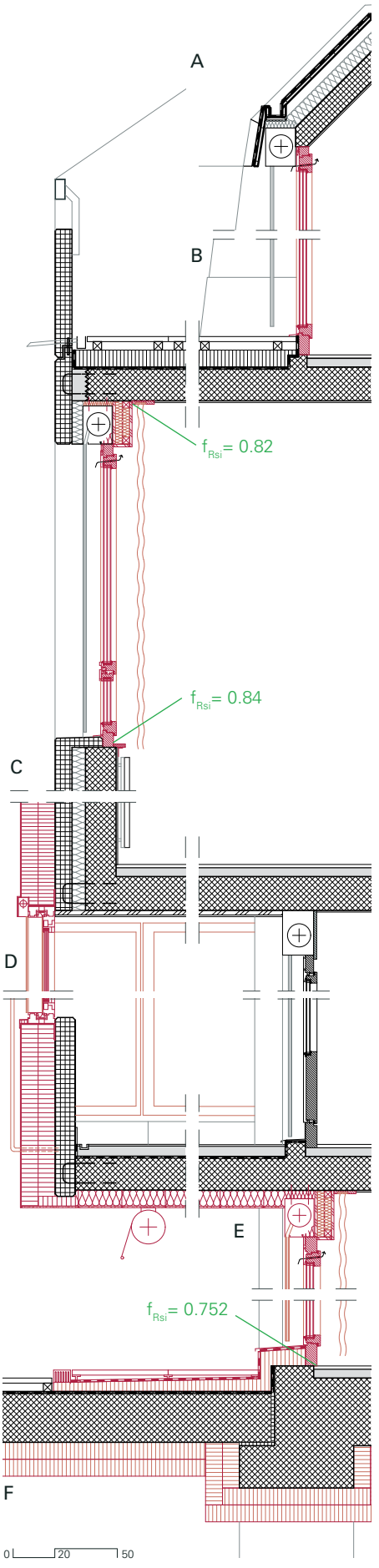
B En attique, l'intervention se fait comme aux étages: les fenêtres existantes sont changées au profit de nouvelles fenêtres à cadres bois-métal, verre isolant triple.

C Aux étages courants, toutes les fenêtres des façades est, nord et ouest ainsi que les fenêtres en façade sud qui ne donnent pas sur un balcon sont remplacées par de nouvelles fenêtres à cadre bois-métal, verre isolant triple. Les caissons de stores sont maintenus et isolés. La finition se fait grâce à un panneau de bois. Une grille hygroréglable permet de gérer le renouvellement d'air réduit par la nouvelle enveloppe étanche.

D En façade sud, la surface habitable des appartements est étendue aux balcons de par la fermeture de ces derniers pour en faire des loggias fermées. Les murets en béton préfabriqués sont isolés par l'extérieur, dans la continuité des fenêtres. Les fenêtres d'origine qui séparent cette loggia de l'appartement peuvent être conservées en l'état, créant ainsi une zone tampon augmentant la capacité d'isolation du bâtiment. Les stores toiles à projection existants sont remplacés par des stores toiles verticaux qui prennent place en façade, dans un caisson au-dessus des menuiseries métalliques.

E Au niveau des jardins, les fenêtres des rez-de-chaussée sont remplacées par des fenêtres à cadres bois-métal, verre isolant triple. Les plafonds des balcons sont isolés par de la laine minérale protégée par un faux-plafond en plâtre hydrofuge.

F Les locaux de service et les caves sont extraits du volume chauffé par une isolation au plafond de la dalle sur sous-sol. Cette opération est rendue possible de par le fait que les réseaux sont positionnés de manière rationnelle et sont souvent suspendus sous la dalle sans interférence avec le nouvel isolant, permettant une mise en oeuvre facilitée de ce dernier.



Toiture
. Couverture cuivre
. Lambrissage de support 20 mm
. Lattage (ventilation) 60 mm
. Isolation laine minérale,
λ = 0.055 W/mK, 80 mm
. Barrière-vapeur
. Dalle béton armé 180 mm
. Plafond gypsé 10 mm

Terrasses
. Dallettes béton 30 mm
. Taquets de support 40 mm
. Isolation polyuréthane,
λ = 0.029 W/mK, 100 mm
. Etanchéité bitumineuse
. Dalle béton armé 200 mm
. Plafond crépi 10 mm

Caisson de store
. Façade béton préfabriqué 100 mm
. Isolation type laine minérale,
λ = 0.04 W/mK, 80 mm
. Volant roulant 180 mm
. Panneau de bois, 20 mm
. Isolation type laine minérale,
λ = 0.04 W/mK, 40 mm
. Pare-vapeur
. Isolation type laine minérale,
λ = 0.04 W/mK, 40 mm
. Panneau de bois de finition 20 mm

Contre-coeur étage courant
. Façade béton préfabriqué 100 mm
. Isolation laine minérale,
λ = 0.04 W/mK, 80 mm
. Muret béton armé 180 mm
. Enduit de finition 10 mm
. Radiateur

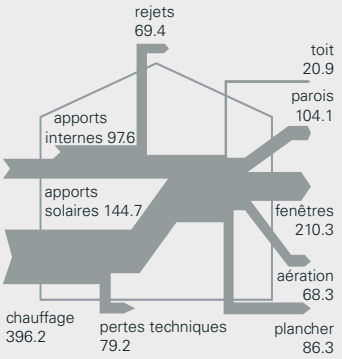
Contre-coeur loggias sud
. Crépi minéral
. Isolation polystyrène expansé,
λ = 0.036 W/mK, 20 mm
. Pare-vapeur
. Parapet en béton préfabriqué
100 mm

Dalle balcon premier étage
. Carrelage collé 10 mm
. Chape ciment 60 mm
. Etancité
. Dalle béton armé 200 mm
. Isolation laine minérale,
λ = 0.04 W/mK, 100 mm
. Revêtement placo-plâtre hydrofuge
gypsé 10 mm

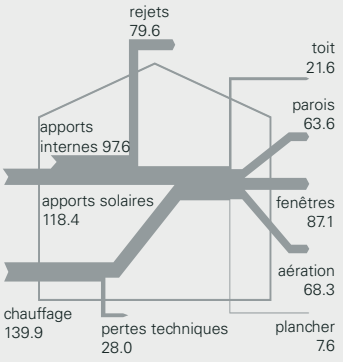
Dalle rez-inférieur, pied de façade
. Carrelage collé 10 mm
. Chape ciment 60 mm
. Dalle béton armé 200 mm
. Isolation polystyrène expansé,
λ = 0.036 W/mK, 200 mm

Dalle rez-inférieur, pied de façade
. Dallettes béton 30 mm
. Taquets de pose 40 mm
. Isolation polyuréthane,
λ = 0.036 W/mK, 70-50 mm
. Etanchéité bitumineuse (barrière
vapeur)
. Dalle béton armé 200 mm
. Isolation polystyrène expansé,
λ = 0.036 W/mK, 200 mm

Extrait des coupes des façades nord et sud présentant les propositions d'intervention.

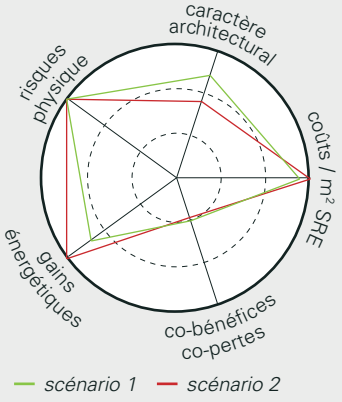


EXISTANT Diagramme de Sankey en MJ/m². La valeur limite SIA 380/1 est de 116.1 MJ/m² et les besoins de chauffage sont de 317.0 MJ/m².



SCENARIO 2 Diagramme de Sankey en MJ/m². La valeur limite SIA 380/1 est de 116.1 MJ/m² et les besoins de chauffage sont de 111.9 MJ/m².

Part des pertes par les ponts thermiques: 18.2 % (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.

Coûts totaux (T.T.C.):
Scénario 1: 3'033'000 CHF
Scénario 2: 2'708'000 CHF

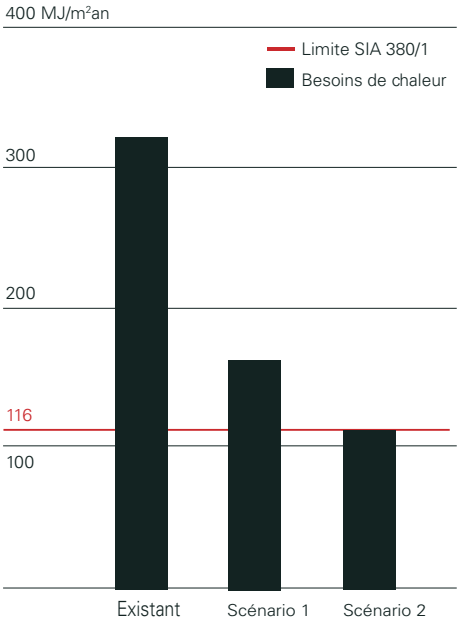
Coût / m² de SRE (T.T.C.):
Scénario 1: 580 CHF
Scénario 2: 520 CHF

Coût / m² d'éléments (T.T.C.):
Toiture: -
Façades et fenêtres:
Scénario 1: 685 CHF
Scénario 2: 580 CHF
Dalle sur espace non-chauffé:
325 CHF

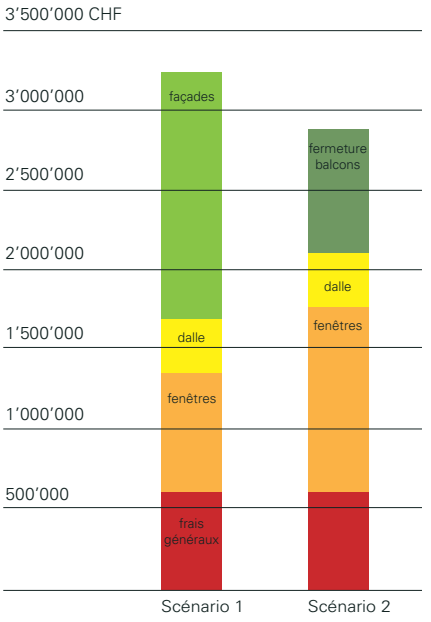
LES SCÉNARIOS

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

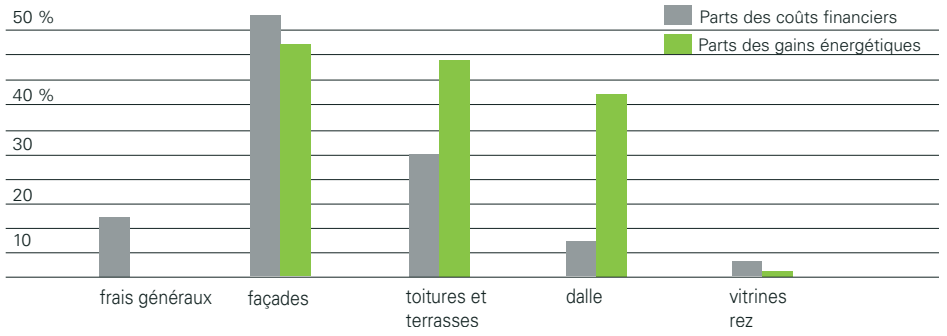
Scénario 2: il intègre la fermeture des balcons en façade sud, le remplacement de toutes les autres fenêtres, l'isolation de la dalle et des murs contre sous-sol pour permettre d'atteindre la valeur-limite. Il apporte un gain énergétique de 205 MJ/m², soit 65%.



Graphique des besoins de chaleur de l'état existant et des scénarios.



Graphique des coûts financiers de chaque scénario répartis par éléments.



Graphique représentant la part des coûts et les gains énergétiques par mesure d'intervention pour le scénario 2.

CONCLUSION

Les grands balcons et la géométrie complexe qui caractérise généralement ce type d'immeuble rend compliqué une intervention avec une isolation périphérique, sans compter le fait que les façades existantes en béton préfabriqué présentent une très bonne durabilité. Le scénario propose une intervention qui modifie sensiblement l'aspect du bâtiment, en façade sud pour le moins, mais qui a comme avantage de conserver le caractère durable des matériaux utilisés dans la construction dans un environnement assez contraignant (humidité, forêt, etc.). Le remplacement des fenêtres existantes, inévitable pour répondre aux normes thermiques, est un point discutable en raison du bon état général des fenêtres d'origine qui n'ont pas atteint leur limite de durée de vie, d'autant que ce poste constitue l'investissement principal du bouquet d'interventions proposé. D'autres mesures beaucoup plus modestes en terme d'investissement, comme l'isolation de la dalle sur sous-sol, contribuent de manière importante à l'augmentation de la performance énergétique de l'immeuble.