



PATRIMOINE SUISSE | SCHWEIZER HEIMATSCHUTZ

# PRO FRIBOURG

229 | Trimestriel | 2025-IV

[www.pro-fribourg.ch](http://www.pro-fribourg.ch)



La rénovation énergétique  
des bâtiments à caractère  
patrimonial

# Concilier environnement et patrimoine, c'est possible!

Défendre le patrimoine bâti est la mission sur laquelle s'est constituée Pro Fribourg. Le contexte fribourgeois s'y prête, puisque la ville, comme le canton, restés longtemps en marge du développement urbain qu'ont pu connaître d'autres régions suisses, ont été préservés jusque dans les années 1960; à partir de là, le développement économique nécessaire au canton s'accomplit pourtant avec des atteintes qui ont affecté le patrimoine. Aujourd'hui soumis au besoin de réduire durablement les émissions de gaz à effet de serre, les bâtiments à caractère patrimonial nécessitent de toute urgence une attention particulière.

Jean-Luc Rime, Stefanie Schwab et leurs collaborateurs enseignent et mènent des recherches sur la rénovation durable et l'adaptation du patrimoine bâti. Au sein de l'Institut TRANSFORM de la Haute école d'ingénierie et d'architecture Fribourg, HES-SO Haute école spécialisée de Suisse occidentale, ils ont développé une approche globale, afin de créer un cadre de vie confortable tout en préservant l'environnement et le patrimoine bâti. Car oui, environnement et patrimoine sont conciliables.

Ce cahier se base sur les enseignements et recherches menées à l'Institut TRANSFORM, en particulier sur le projet TypoRenoVD, un mandat du canton Vaud qui vise à

concilier les intérêts patrimoniaux et énergétiques. Des dizaines de fiches de bonnes pratiques ont été développées en étroite collaboration avec les cantons de Vaud, Fribourg et Neuchâtel, et des centaines de professionnels ont bénéficié des formations dispensées par les architectes spécialistes de l'Institut TRANSFORM.

Rénover nécessite un savoir-faire précis, afin de préserver l'esthétique d'une époque ou l'intention d'un architecte. À contrario, des interventions inappropriées appauvrissent notre héritage culturel. Cette publication vient mettre en lumière les solutions développées et sera suivie d'une rencontre ouverte à toutes et tous, qui réunira les professionnels concernés par cette thématique (voir p. 4). De la sorte, Pro Fribourg espère contribuer à un avenir durable et respectueux de notre patrimoine.

*Sylvie Genoud Jungo et  
Anne-Catherine Gillis,  
Pro Fribourg*

Photo de couverture:  
Fribourg, de sa vieille ville  
au Schönberg. Les ponts  
relient les époques comme  
ce cahier relie patrimoine  
et enjeux énergétiques.

© Caroline Bruegger



# IMPRESSUM

## Éditeur

PRO FRIBOURG  
Route de la Glâne 26  
1700 Fribourg  
info@pro-fribourg.ch  
redaction@pro-fribourg.ch

## Responsables de la publication

Anne-Catherine Gillis, Jean-Luc Rime,  
Stefanie Schwab

## Rédaction

Étienne Courtois, Anne-Catherine Gillis,  
Cyrill Haymoz, Théo Perrelet, Jean-Luc  
Rime, Stanislas Rück, SBC, Stefanie  
Schwab, Yanaëlle Sciboz, Antonio Tornay

## Graphisme et prépresse

Caroline Bruegger, Fribourg

## Impression

Stämpfli SA, Berne

Tirage: 3000 ex.

Prix: 25 francs

ISSN: 0256-1476

[www.pro-fribourg.ch](http://www.pro-fribourg.ch)

## Devenir membre

Par le paiement d'une seule et même cotisation, vous devenez membre de Patrimoine Suisse et de sa section fribourgeoise, Pro Fribourg. Par votre adhésion, vous recevez la revue trimestrielle des deux associations.

Ordinaire: Fr. 80.–

De soutien: Fr. 120.–

AVS: Fr. 70.–

Jeunes < 30 ans: Fr. 30.–

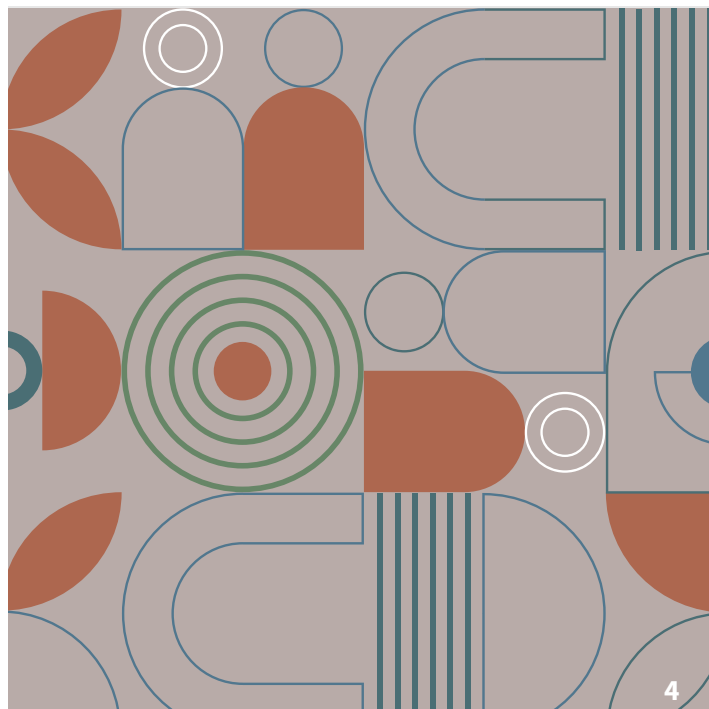


## Soutenir Pro Fribourg

Les dons et les successions contribuent au fonctionnement de l'association et à ses activités. Ils sont en outre déductibles des impôts.

IBAN CH30 0900 0000 1700 6883 3

BIC POFICHBEXXX

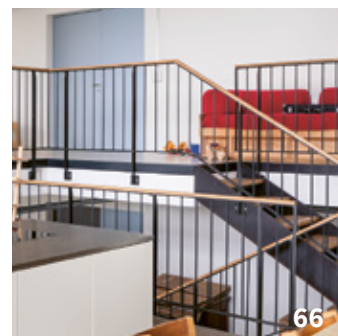
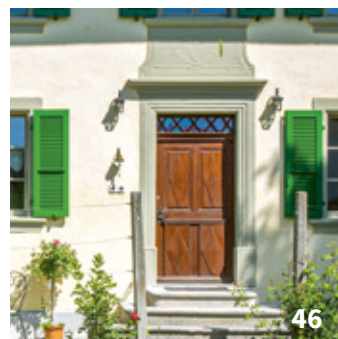


Cette publication a été réalisée en collaboration avec l'Institut TRANSFORM, Haute école d'ingénierie et d'architecture Fribourg, HES-SO Haute école spécialisée de Suisse occidentale.

**Hes·so**  
Haute Ecole Spécialisée  
de Suisse occidentale  
Fachhochschule Westschweiz

**TRANSFORM**  
Transform Institute  
Heritage, Construction and Users

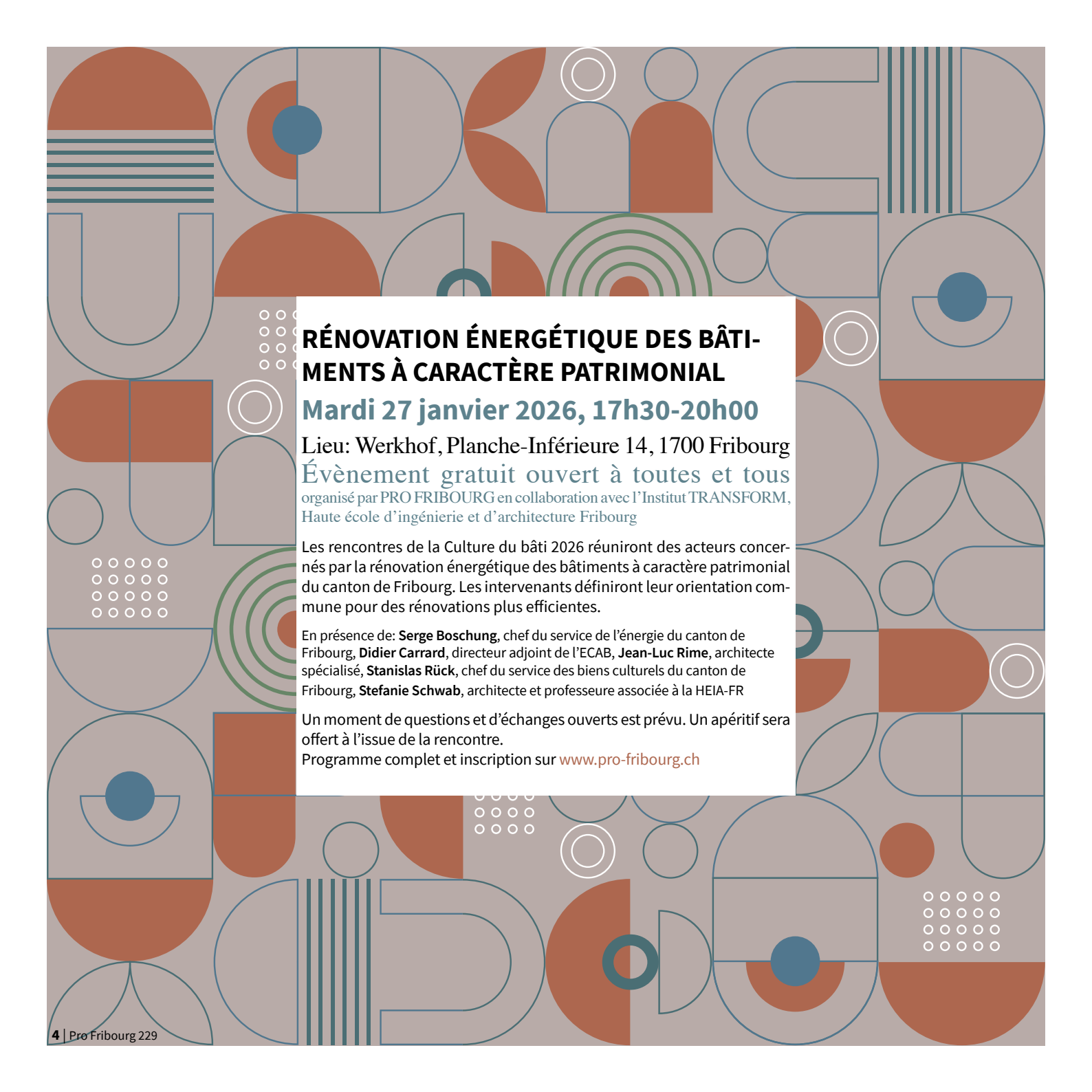
 **HEIA-FR**  
HTA-FR





|    |                                                                                                                                                                      |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Éditorial                                                                                                                                                            |
| 4  | <b>Rencontres de la Culture du bâti 2026</b>                                                                                                                         |
|    | <b>Conseil</b>                                                                                                                                                       |
| 6  | Enjeux et méthodologie de la restauration énergétique<br>Jean-Luc Rime, Stefanie Schwab                                                                              |
|    | <b>Méthodologie</b>                                                                                                                                                  |
| 10 | La méthodologie TypoRENO, stratégies de rénovation pour le patrimoine<br>Stefanie Schwab                                                                             |
| 12 | Les mesures de rénovation énergétique des bâtiments à caractère patrimonial<br>Anne-Catherine Gillis, Théo Perrelet, Jean-Luc Rime, Stefanie Schwab, Yanaelle Sciboz |
| 38 | Étude de cas A1, Maison paysanne des XVIII <sup>e</sup> -XIX <sup>e</sup> siècles                                                                                    |
| 42 | Étude de cas F1, Îlot urbain de la 1 <sup>re</sup> moitié du XX <sup>e</sup> siècle                                                                                  |
|    | <b>Pratique</b>                                                                                                                                                      |
| 46 | Exemples de bonnes pratiques<br>Anne-Catherine Gillis, Théo Perrelet, Jean-Luc Rime                                                                                  |
|    | <b>Acteurs</b>                                                                                                                                                       |
| 54 | Enjeux du point de vue de l'énergie<br>Étienne Courtois                                                                                                              |
| 58 | Patrimoine et énergie – Un mariage de raison<br>Stanislas Rück                                                                                                       |
| 62 | XII <sup>e</sup> ou XX <sup>e</sup> siècle: une même approche<br>Cyrill Haymoz, Antonio Tornay, SBC                                                                  |
|    | <b>Entretien</b>                                                                                                                                                     |
| 66 | Rencontre avec les Architectes pour le climat<br>Anne-Catherine Gillis                                                                                               |
| 70 | Glossaire                                                                                                                                                            |
| 71 | Références                                                                                                                                                           |
| 72 | Remerciements                                                                                                                                                        |





## RÉNOVATION ÉNERGÉTIQUE DES BÂTIMENTS À CARACTÈRE PATRIMONIAL

**Mardi 27 janvier 2026, 17h30-20h00**

Lieu: Werkhof, Planche-Inférieure 14, 1700 Fribourg

Évènement gratuit ouvert à toutes et tous

organisé par PRO FRIBOURG en collaboration avec l'Institut TRANSFORM, Haute école d'ingénierie et d'architecture Fribourg

Les rencontres de la Culture du bâti 2026 réuniront des acteurs concernés par la rénovation énergétique des bâtiments à caractère patrimonial du canton de Fribourg. Les intervenants définiront leur orientation commune pour des rénovations plus efficaces.

En présence de: **Serge Boschung**, chef du service de l'énergie du canton de Fribourg, **Didier Carrard**, directeur adjoint de l'ECAB, **Jean-Luc Rime**, architecte spécialisé, **Stanislas Rück**, chef du service des biens culturels du canton de Fribourg, **Stefanie Schwab**, architecte et professeure associée à la HEIA-FR

Un moment de questions et d'échanges ouverts est prévu. Un apéritif sera offert à l'issue de la rencontre.

Programme complet et inscription sur [www.pro-fribourg.ch](http://www.pro-fribourg.ch)



# RENCONTRES DE LA CULTURE DU BÂTI 2026



# Enjeux et méthodologie de la restauration énergétique

---

Jean-Luc **Rime** et Stefanie **Schwab**, architectes et professeurs associés, HEIA-FR



L'Office fédéral de l'énergie (OFEN) prévoit une transformation profonde du parc immobilier suisse à l'horizon 2050. Cette stratégie repose sur trois piliers principaux: la réduction de la consommation d'énergie, l'optimisation de l'exploitation énergétique et la substitution des énergies fossiles par des sources renouvelables.





Caroline Bruegger

L'objectif global est de diminuer la consommation énergétique moyenne de 55% par rapport à 2010. L'énergie grise des matériaux de construction ainsi que les émissions grises qui leur sont associées doivent être sensiblement réduites, tant dans les nouvelles constructions que lors des travaux d'assainissement.

D'ici 2030, chaque bâtiment devra être soumis à une optimisation énergétique obligatoire, intégrant une surveillance précise de ses performances. Et d'ici 2050, les chauffages au mazout, au gaz ou à l'électricité directe devront être remplacés par des solutions renouvelables. Les bâtiments produiront une part croissante de leur propre énergie.

### **Le parc immobilier et le cadre légal**

La rénovation énergétique concerne presque tous les bâtiments en Suisse. Ceux construits avant les années 1980 consomment encore trop d'énergie et recourent souvent aux combustibles fossiles. Dès cette période, les premières prescriptions énergétiques ont vu le jour, et leur renforcement constant a conduit à des exigences cinq fois supérieures aujourd'hui par rapport au début du XX<sup>e</sup> siècle.

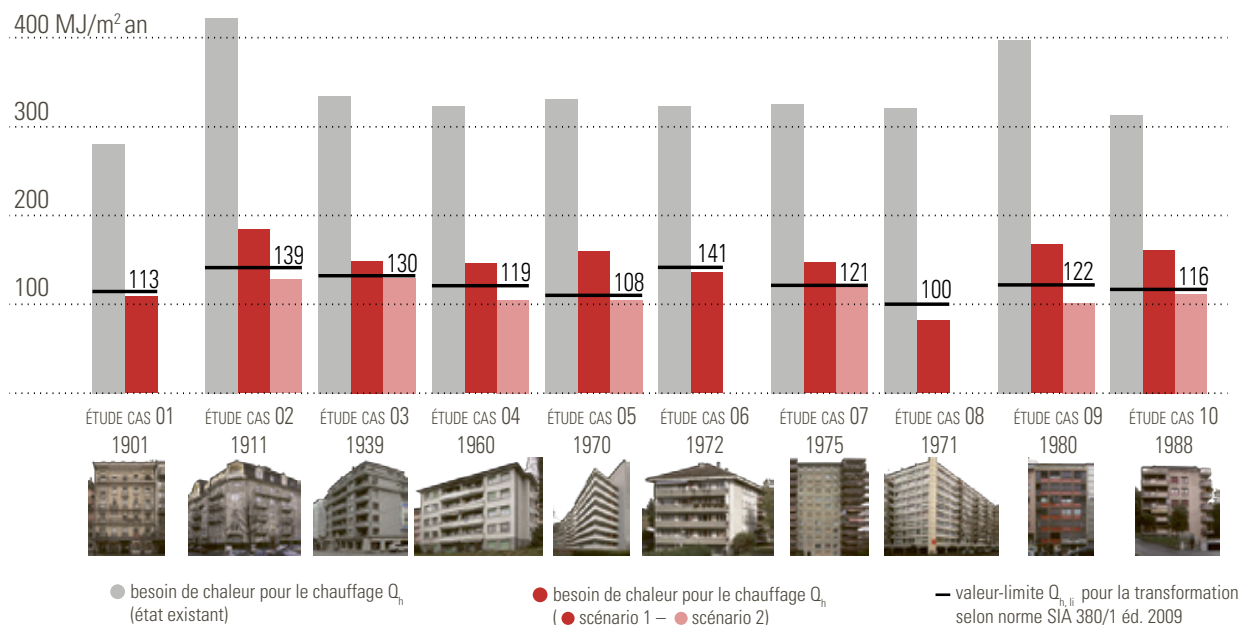
La norme SIA 380/1 (édition 2016) fixe des valeurs limites pour la transmission thermique des éléments d'enveloppe, imposant une

performance beaucoup plus élevée qu'autrefois. Les maîtres d'ouvrage doivent ainsi assurer des rénovations conformes aux standards actuels d'isolation et de durabilité.

### **Enjeux et risques: vers une rénovation durable**

La généralisation de solutions standardisées, telles que les fenêtres en plastique blanc, l'isolation extérieure en polystyrène ou les tablettes de fenêtres en aluminium, pose plusieurs défis. Si ces interventions semblent efficaces sur le plan énergétique, elles s'avèrent problématiques du point de vue patrimonial, constructif et environnemental. À grande échelle, elles modifient l'apparence des quartiers et participent à la banalisation du cadre bâti.

Pour qu'une rénovation soit durable, elle doit être envisagée de manière globale. Il s'agit de trouver un équilibre entre efficacité énergétique, viabilité économique et respect du patrimoine. Les cobénéfices (comme un meilleur confort thermique ou acoustique) doivent être mis en balance avec les copertes (telles que la réduction de la lumière naturelle ou la perte de surfaces). L'épaisseur des isolants, par exemple, influence l'aspect architectural du bâtiment et la qualité des espaces intérieurs.



Étude eREN, Approche globale pour l'enveloppe des bâtiments, institut TRANSFORM, 2018, [www.smartlivinglab.ch/fr/projects/eren-energie-et-renovation/](http://www.smartlivinglab.ch/fr/projects/eren-energie-et-renovation/)

## Études de cas et durabilité des matériaux

Des études de cas réalisées à l'institut TRANSFORM sur des bâtiments construits entre 1900 et 1990, montrent que chaque époque présente des caractéristiques architecturales et constructives propres. Celles-ci sont liées au mode de construction et aux matériaux utilisés à l'origine, et la stratégie de rénovation énergétique devrait en tenir compte. Les matériaux d'origine, notamment dans les parties basses, étaient souvent plus résistants que ceux utilisés aujourd'hui. Il est donc essentiel de préserver ou de remplacer ces éléments avec discernement.

La durabilité des matériaux est un enjeu majeur: il faut privilégier les matériaux biosourcés, ouverts à la diffusion de vapeur et respectueux de l'environnement. Leur sélection doit cependant être adaptée aux contraintes physiques du bâtiment pour garantir la pérennité de la structure.

## Contraintes techniques et planification

Les contraintes structurelles, acoustiques, thermiques, sanitaires ou liées à la sécurité influencent fortement les projets de rénovation. Par ailleurs, des réflexions sur la densification raisonnable, la

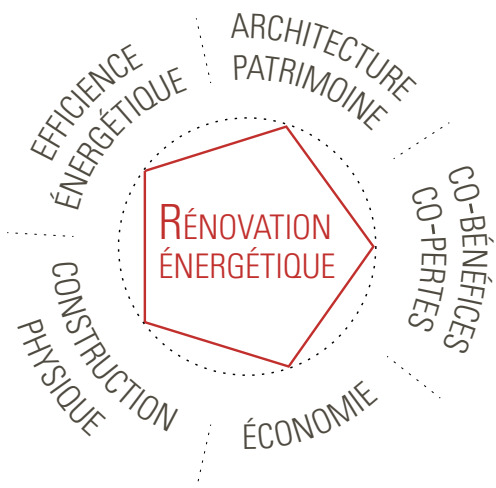
typologie des bâtiments et leurs usages peuvent apporter de réelles plus-values aux projets.

Les rénovations réussies s'appuient sur des études de faisabilité menées par des professionnels qualifiés, intégrant diagnostics, relevés, plans de dégradation et hiérarchisation des priorités.

Ces diagnostics permettent d'évaluer la vétusté, l'obsolescence et les risques, tout en déterminant le caractère urgent ou non des interventions. Ils prennent également en compte la sécurité, la conformité réglementaire et la présence éventuelle de substances nocives comme l'amiante.

## Résultats et performances énergétiques

Les bilans thermiques des différentes études de cas eREN (voir tableau ci-dessus) montrent que les besoins de chaleur pour le chauffage peuvent être réduits de plus de moitié grâce à des scénarios de rénovation adaptés. Ces résultats se rapprochent des valeurs limites fixées par la norme SIA 380/1 pour les transformations énergétiques. La planification et le suivi de l'exploitation permettent de garantir cette efficacité sur le long terme.



La rénovation énergétique nécessite de concilier plusieurs paramètres.

### Approche globale et perspectives

Une approche intégrée est donc indispensable. Les interventions doivent non seulement viser la réduction des consommations mais aussi préserver la valeur architecturale et sociale du patrimoine bâti. Les rénovations les plus pertinentes sont celles qui tiennent compte du cycle de vie des matériaux, des qualités existantes du bâtiment et des synergies possibles pour son avenir. La durabilité à long terme repose sur une vision d'optimisation continue, inscrite dans l'ensemble du parc immobilier suisse. Ces travaux, plus complexes qu'il n'y paraît de prime abord, doivent être planifiés et dirigés par des architectes compétents et bien formés. La HEIA-Fribourg assure leur formation continue au moyen d'un CAS en Analyse énergétique des bâtiments, et, dès 2026, d'un nouveau CAS en Restauration et adaptation du patrimoine.

Enfin, chaque projet doit être perçu non comme une contrainte réglementaire, mais comme une opportunité de moderniser intelligemment un patrimoine existant, tout en préparant la Suisse à un avenir énergétique sobre, résilient et respectueux de son environnement bâti.

### Engageons-nous!

Décarboner le parc immobilier d'ici 2050 n'est pas un rêve lointain: c'est un objectif parfaitement atteignable, à condition que chaque propriétaire prenne ses responsabilités et se dote d'une feuille de route claire. Cet outil est indispensable pour agir de manière planifiée, cohérente et efficace.

Mais cette transition ne peut pas reposer uniquement sur les épaules des propriétaires. Les autorités doivent, elles aussi, faire preuve de pragmatisme et de courage politique. Toutes nos études le montrent: amener un bâtiment à la classe énergétique D ou E est possible avec un effort raisonnable, tout en sortant durablement de la dépendance aux énergies fossiles. De toute façon, les installations techniques, dont la durée de vie se limite à 15 ou 25 ans, devront être remplacées. Alors soit on anticipe intelligemment, soit on continue à subir.

Faut-il vraiment viser la perfection pour quelques bâtiments, au détriment de la majorité? Non. Mieux vaut améliorer significativement l'ensemble du parc immobilier plutôt que d'exiger l'excellence énergétique (classes A, B, C) pour une infime minorité. Pour les bâtiments protégés, exiger la classe E et viser la classe D constitue un choix juste, réaliste et respectueux du patrimoine.

Les chiffres sont clairs: les premiers centimètres d'isolation offrent les gains énergétiques les plus importants. Selon le matériau choisi, l'impact écologique de certains travaux d'isolation dépasse même parfois les économies d'énergie obtenues.

Oui, les objectifs climatiques sont atteignables. Mais à condition que chaque acteur – propriétaires, entreprises et État – comprenne les enjeux et passe à l'action. Établir une feuille de route pour atteindre les objectifs climatiques d'ici 2050 permet aussi de planifier les investissements nécessaires dans le temps. Cette première étape demande un investissement raisonnable, généralement compris entre 10'000 et 50'000 francs selon la taille et la complexité du bien. Pour les immeubles protégés, une partie de ces coûts doit être assumée par les pouvoirs publics, comme le fait déjà le canton de Neuchâtel avec son programme RENO-NE, qui montre la voie à suivre.

Engageons-nous concrètement – chacun à notre échelle – pour que la transition énergétique du bâti devienne enfin une réalité plutôt qu'une promesse.

# La méthodologie TypoRENO

## Stratégies de rénovation pour le patrimoine

Stefanie **Schwab**, Institut TRANSFORM, Haute école d'ingénierie et d'architecture Fribourg, HES-SO Haute école spécialisée de Suisse occidentale et son équipe

La rénovation du parc immobilier s'impose face aux enjeux climatiques. Les fiches typologiques offrent aux propriétaires de biens patrimoniaux des conseils techniques en favorisant une approche globale.

Il est indispensable de rénover énergétiquement le parc immobilier existant pour affronter les enjeux climatiques. Différentes études menées à l'institut TRANSFORM (Haute école d'ingénierie et d'architecture Fribourg) ont mis en évidence l'absence d'accompagnement des propriétaires dans leurs démarches de rénovation, le manque de connaissances et d'outils concrets ainsi que la nécessité de trouver des stratégies interdisciplinaires avec les administrations publiques concernées. Pour y répondre, un projet de fiches typologiques de restauration énergétique des bâtiments d'habitation à caractère patrimonial associe les directions de l'énergie (DIREN) et du patrimoine (DGIP) du canton de Vaud dans une vision commune de bonnes pratiques. Elles visent à proposer aux propriétaires et aux professionnels des solutions pour concilier

les intérêts divergents, faciliter l'assainissement du patrimoine bâti et augmenter la qualité des projets déposés. Aux quatre fiches qui traitent des quatre principales mesures de restauration (toitures, isolation intérieure, fenêtres, isolation extérieure), font suite une trentaine de fiches d'études de cas pratiques.

### Une approche globale

Les types de bâtiments sélectionnés englobent diverses catégories de bâtiments recensés dans les notes 2 et 3, ainsi que ceux inscrits à l'Inventaire cantonal. Ils ont été choisis selon leur implantation, leur gabarit, leur époque, leur mode constructif, ainsi que leurs particularités architecturales. Les études de cas prennent en compte les contraintes réelles et les évolutions au fil du temps, en adoptant une approche globale.





Les fiches TypoRENO-VD détaillent les défis posés par la rénovation énergétique par type de mesures (toiture, isolation intérieure, fenêtres, etc.) ou par type de bâtiment sur la base d'une étude de cas.

Celle-ci privilégie les matériaux minéraux et biosourcés, ouverts à la diffusion de vapeur, pour réduire les risques de condensation et limiter l'énergie grise des rénovations; la substance historique s'en trouve préservée. Afin d'intégrer les enjeux techniques et environnementaux, l'approche globale inclut un bilan énergétique et environnemental pour chaque mesure de rénovation, une production de chaleur renouvelable contextualisée, une réflexion sur la ventilation des locaux et l'intégration de l'énergie solaire. Les fiches illustrent les mesures de rénovation et hiérarchisent les interventions selon la vétusté des éléments et la faisabilité des travaux.

Les études de cas montrent qu'on peut améliorer la plupart des bâtiments à caractère patrimonial de la classe énergétique G à la classe D avec un effort raisonnable. Notamment en isolant les dalles et les murs

contre les espaces non-chauffés, ainsi que les éléments de l'enveloppe extérieure avec un crépi isolant minéral sur les façades. Pour atteindre les exigences légales applicables aux bâtiments non-protégés patrimonielement (classe C), une isolation intérieure est souvent nécessaire. Elle peut parfois être évitée grâce à des stratégies de compensation, en intervenant par exemple sur certaines façades extérieures plus modestes et moins visibles. En outre, une feuille de route permet aussi une planification des interventions échelonnée sur plusieurs années, ce qui offre aux propriétaires une meilleure gestion des coûts tout en poursuivant les objectifs énergétiques.

## Diffusion du projet

Né en 2021, le projet développé pour le canton de Vaud se diffuse désormais dans

d'autres cantons romands, comme Neuchâtel. À Fribourg, il existe pour l'heure des fiches de bonnes pratiques pour les villas individuelles.

En parallèle, la mise en place d'une formation interdisciplinaire pour les services publics vaudois et d'une formation continue pour les planificateurs en collaboration avec la SIA Vaud a permis de former plus de 250 participants en 2024-25. Des formations ont également été mises en place dans le canton de Neuchâtel.

La méthode et les fiches TypoRENO-VD sont disponibles sur le site web du canton de Vaud. Les liens se trouvent en p. 71



# Les mesures de rénovation énergétique des bâtiments à caractère patrimonial

.....  
Anne-Catherine **Gillis**, Pro Fribourg, Théo **Perrelet**, ingénieur HES et collaborateur scientifique, Jean-Luc **Rime** et Stefanie **Schwab**, architectes et professeurs associés, HEIA-FR, Yanaelle **Sciboz**, architecte HES et collaboratrice scientifique à l'institut TRANSFORM

Rénover ou restaurer l'existant s'impose désormais comme une règle de base en matière d'architecture. Construire un nouveau bâtiment avec des méthodes de constructions usuelles qui font la part belle au ciment et au plastique est extrêmement coûteux pour l'environnement: les matériaux utilisés puisent dans les ressources, ne sont pas durables et, pour certains, mobilisent des substances issues du pétrole; leur production, leur transport et leur mise en œuvre sont responsables de 11% des émissions mondiales de CO<sub>2</sub><sup>1</sup>. Et lorsque la construction prend place sur un bâtiment existant destiné à être rasé, le bilan est catastrophique (pour en savoir plus sur l'énergie grise, voir l'interview en p. 66).

Il s'agit donc de rénover et transformer le bâti, en isolant les parois, en améliorant les fenêtres et toitures, en changeant

les installations techniques, en particulier les modes de production d'énergie pour le chauffage. Parfois, cela peut s'accompagner d'une augmentation de la surface d'habitation (agrandissements et surélévation, création de grands balcons, aménagement des combles, etc.) et d'une densification douce des quartiers permettant d'y accueillir de nouveaux habitants. Les progrès réalisés sur le plan des connaissances techniques comme sur celui des matériaux permettent un gain substantiel en matière d'efficacité énergétique. Néanmoins, dans le cas d'un bâtiment historique, toutes les mesures de rénovation prises habituellement ne peuvent pas toujours être appliquées: il n'est évidemment pas envisageable de poser un isolant extérieur sur une façade en molasse, ni d'installer des panneaux solaires génériques sur les toits des maisons médiévales d'un

**Rénovation énergétique  
d'une maison protégée  
en catégorie 3 à Fribourg  
en l'isolant par l'intérieur  
et en préservant les  
matérialités d'origine.**  
Atelier d'architecture  
espaces & environnement



Primula Bosshard

bourg historique, comme en Basse-Ville de Fribourg. Comment donc procéder pour allier respect du patrimoine et nécessités environnementales? Une analyse circonstanciée de chaque mesure de restauration permet d'aboutir à des solutions équilibrées<sup>2</sup>.

Dans l'ensemble, il existe deux chemins pour penser la restauration énergétique. Le premier concerne les mesures ponctuelles, comme le changement des fenêtres ou l'isolation de la toiture. Dans ce cas, le respect strict des exigences en matière de performance énergétique est obligatoire et peut se révéler contraignant, pour un résultat fort mitigé. Le deuxième chemin offre davan-

tage de souplesse en ce qui concerne les exigences légales: il propose une approche globale de la rénovation, prévoyant un ensemble de mesures avec un système de compensation entre les unes et les autres, de manière à atteindre les exigences sur l'ensemble du bâtiment, plutôt que de manière ponctuelle poste par poste. Concevoir ainsi le bâti dans sa globalité permet d'apporter des nuances dans son traitement qui vont augmenter la performance et la longévité de la restauration; une approche où le moins est parfois synonyme de plus (moins d'exigence pour plus de mesures) qui doit absolument être encouragée.

Dans son article paru dans la revue

*espazium* au sujet du *Forum Énergie + Patrimoine* qui s'est tenu à Lausanne en mars 2022, Camille Claessen-Vallet conclut que «la matière première la plus adéquate que nous avons pour limiter le réchauffement climatique est là, juste sous nos yeux: le patrimoine»<sup>3</sup>.

1 *La Revue Durable, Construire sans détruire*, n° 69 (décembre 2023).

2 À noter que ce cahier répertorie les solutions existantes, mais ne garantit pas la validation d'un projet de rénovation par les Services des biens culturels de l'Etat de Fribourg.

3 Camille Claessen-Vallet, «Forum Énergie + Patrimoine: l'urgence climatique comme impératif commun», *espazium*, 16.05.2022.

# Isolation intérieure

L'isolation des murs par l'intérieur a l'avantage majeur de respecter l'aspect extérieur du bâtiment: la matérialité d'origine, le détail des embrasures, des ornements, des corniches et du socle sont préservés. Elle comporte néanmoins des inconvénients importants, qui peuvent, si l'on n'en tient pas compte, provoquer de graves dégâts.

## Les risques de l'isolation intérieure

Tout d'abord, en termes d'efficacité énergétique, l'isolation intérieure ne règle pas le problème des ponts thermiques. À chaque étage d'une bâtisse, une poutre ou une dalle est fichée dans le mur et constitue ainsi un point de faiblesse thermique. Contrairement à l'isolation extérieure, qui enveloppe tout le bâtiment, l'isolation intérieure laisse échapper de la chaleur par ces ponts thermiques.

Ensuite, plus l'isolation intérieure est performante et donc épaisse, plus la température de la paroi qui se trouve derrière s'abaisse, car elle ne bénéficie plus de l'apport de chaleur venant de l'intérieur. L'inertie des murs est ainsi perdue. C'est pourquoi, l'isolation par l'extérieur est à privilégier où cela est envisageable, par exemple en appliquant un crépi isolant ou une isolation sur les façades arrière, les attiques en retrait ou les façades pignons souvent plus modestes.

Le fait que le mur isolé par l'intérieur reste froid provoque un autre problème. La vapeur qui traverse l'isolation et entre en contact avec la surface froide va condenser sur celle-ci et se transformer en eau. Le phénomène peut encore être aggravé par la non-étanchéité à l'air due à une isolation mal posée. Si cette eau ne peut pas s'évaporer, des moisissures, voire des champignons, vont se développer, et les matériaux sensibles, comme les têtes des solives en bois, vont pourrir.

Enfin, une isolation intérieure implique des travaux importants dans les logements, ce qui génère une gêne qu'il n'est pas

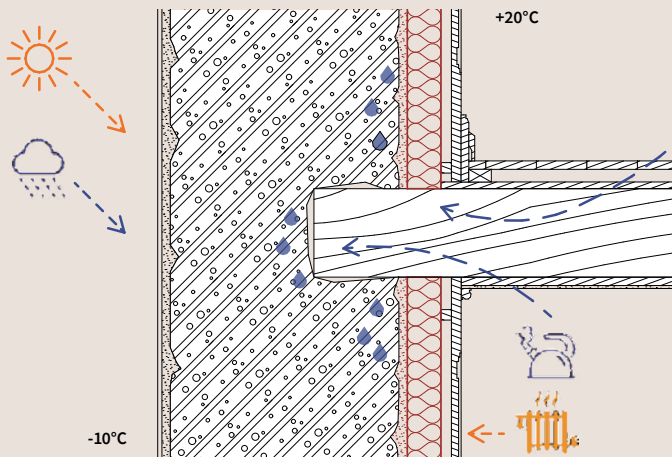
toujours possible d'imposer aux locataires. Elle exige également d'apporter un soin particulier aux détails constructifs et à la mise en œuvre.

## Complexité de la mise en œuvre

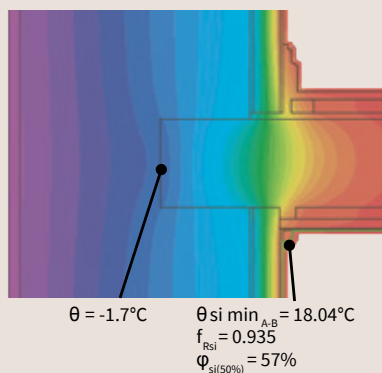
Pour éviter ces problèmes de physique du bâtiment, il est nécessaire, avant toute mesure d'isolation, d'analyser la bâtisse pour identifier les ponts thermiques et autres points sensibles. En règle générale, une isolation intérieure ne devrait pas dépasser une épaisseur de 6 à 8 cm.

Il est par ailleurs essentiel d'utiliser des matériaux ouverts à la diffusion de vapeur pour permettre à la condensation de s'échapper. Cela s'applique à l'isolation, aux enduits, aux peintures et aux colles. Avec les laines minérales ou végétales, il est nécessaire de limiter la migration de vapeur par la pose d'un frein vapeur. Toutefois, la mise en œuvre de cette feuille requiert un savoir-faire et une grande rigueur que seuls possèdent les professionnels certifiés.





Une isolation intérieure excessive a pour effet de réduire considérablement la quantité de chaleur interne transmise au mur. Les têtes de solives se trouvent alors dans un endroit particulièrement critique. Lorsque la vapeur produite à l'intérieur rencontre une surface froide, elle condense, ce qui entraîne la détérioration de la solive en bois située dans cette zone de condensation.



Simulation du transfert de chaleur avec 80 mm d'isolation à l'intérieur. Les têtes de poutre en bois se trouvent dans une zone extrêmement froide à  $-1.7^{\circ}\text{C}$ .

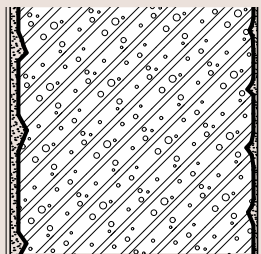
## De quoi sont faits les murs de nos maisons?

La composition des murs extérieurs a évolué dans le temps. Jusqu'au début du XX<sup>e</sup> siècle, les façades étaient construites en pierre et en moellons d'une grande épaisseur avec des planchers en poutres de bois, une épaisseur qui diminue dans les étages. À partir des années 1930, les briques creuses les remplacent. Dans les années 1950, les murs porteurs extérieurs comprenant un vide d'air et un doublage intérieur se répandent, et les dalles sont construites avec des hourdis ou rarement en béton. Une faible isolation fait parfois son apparition à l'intérieur des murs. Les années 1960-70 voient apparaître les façades construites en béton apparent, souvent combinées avec un doublage intérieur. Mais c'est la crise pétrolière de 1973 qui va conduire à la généralisation de l'isolation des murs. À partir des années 1980, l'isolation thermique se trouve à l'extérieur du mur porteur: celui-ci est doublé et présente une façade ventilée. À partir des années 1980, un cadre légal est progressivement mis en place pour imposer des performances thermiques à l'enveloppe des bâtiments.

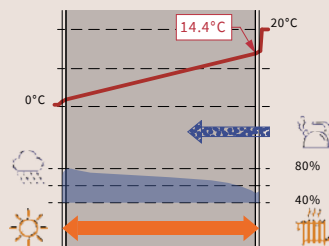
## La mûre des maisons, le «cancer du bâtiment»

La condensation due à une isolation intérieure trop épaisse provoque l'apparition de moisissures, parfois même de champignons. Le cas de la mûre est particulièrement préoccupant. Il s'agit d'un champignon visqueux lignivore, ce qui signifie qu'il se nourrit de bois. Une fois qu'il est apparu dans une maison, ses enzymes dissolvent les constituants du bois des poutres et autres éléments constructifs et leur font perdre leur résistance mécanique. Cela provoque des dégâts importants, et l'éradication de ce champignon est très difficile.

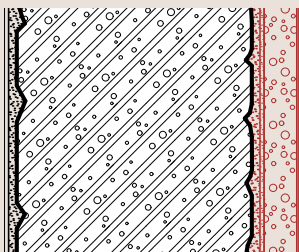
# Points d'attention et propositions de solutions



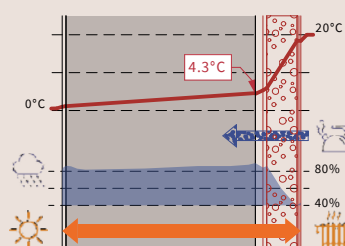
- Peinture silicate ou chaux ouverte à la diffusion de vapeur
- Crépi à la chaux ouvert à la diffusion de vapeur
- Mur existant, moellons 50 cm
- Enduit intérieur ouvert à la diffusion de vapeur



**U: 1.21 W/m²K**  
 SIA 380/1:2016 ponctuelle ●  
 SIA 380/1:2016 globale ●  
 SIA 180:2014 ●



- Peinture silicate ou chaux ouverte à la diffusion de vapeur
- Crépi à la chaux ouvert à la diffusion de vapeur
- Mur existant, moellons 50 cm
- Crépi isolant minéral pour égalisation, 30 mm
- Mortier léger
- Isolation intérieure, silicate de calcium ou crépi isolant, max. 80 mm,  $\lambda = 0.042$  W/mK
- Mortier léger avec treillis
- Crépi minéral de finition



**U: 0.34 W/m²K**  
 SIA 380/1:2016 ponctuelle ●  
 SIA 380/1:2016 globale ●  
 SIA 180:2014 ●

## Avantages physiques des murs anciens

La température augmente progressivement à l'intérieur d'un ancien mur dont la composition est uniforme, favorisant ainsi un séchage facile. Étant donné l'absence de couche étanche, la diffusion de la vapeur se produit naturellement, limitant tout risque important lié à la condensation. De plus, le mur est protégé de la pluie battante par un crépi minéral à base de chaux, ouvert à la diffusion de vapeur.

## Isolation intérieure sans frein-vapeur

Pour améliorer un mur ancien, on peut utiliser un crépi isolant à base de chaux ou des panneaux de silicate de calcium. Ceux-ci doivent être parfaitement posés sur le support – sans vide d'air – en utilisant un enduit de lissage en crépi isolant. Il faut être particulièrement attentif à l'état du revêtement extérieur et à son exposition à la pluie et vérifier à l'aide d'un logiciel la teneur en humidité du mur. Sans étude spécifique (WUFI), il ne faut pas dépasser une épaisseur d'isolation de 8 cm<sup>1</sup>.

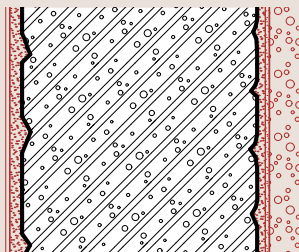
<sup>1</sup> J. Bachinger, Fr. Haldi, B. Stamm, «Assainissement énergétique de bâtiments historiques», *Tracés* 137/19 (2011).

## Isolation intérieure et crépi isolant extérieur

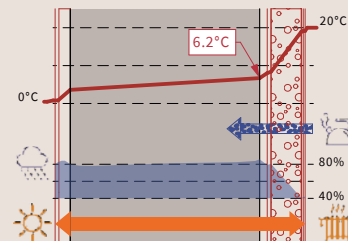
Le cas « idéal » pour une préservation de la façade et le respect de la physique du bâtiment est un compromis entre une isolation intérieure et un crépi isolant minéral extérieur qui protège la façade de la pluie battante et permet à la vapeur d'eau de s'échapper. Ce crépi atténue les phénomènes indésirables liés à l'isolation intérieure en augmentant la température intérieure aux endroits critiques. Toutefois, cette solution n'est pas envisageable si l'on se trouve en présence d'un crépi minéral historique ou de décors peints.

## Têtes de poutres

Pour limiter les risques liés à la condensation, on évitera une isolation intérieure trop importante au niveau des poutres. De fines nattes de chanvre posées autour des têtes de poutres permettent de réduire les ponts thermiques et d'assurer l'étanchéité à l'air. Un crépi isolant extérieur est idéal pour augmenter la température aux endroits critiques si la façade ne présente pas une substance historique. Pour éviter tout risques liés à la condensation et améliorer l'étanchéité à l'air, l'enveloppe thermique devrait être continue.



- Peinture silicate ou chaux ouverte à la diffusion de vapeur
- Crépi minéral à la chaux
- Crépi isolant minéral extérieur, 40 mm,  $\lambda = 0.06$  W/mK
- Mur existant, moellons 50 cm
- Crépi isolant minéral pour égalisation, 30 mm
- Mortier léger
- Isolation intérieure, silicate de calcium ou crépi isolant, 80 mm voire plus (selon calculs WUFI),  $\lambda = 0.042$  W/mK
- Mortier léger avec treillis
- Crépi minéral de finition

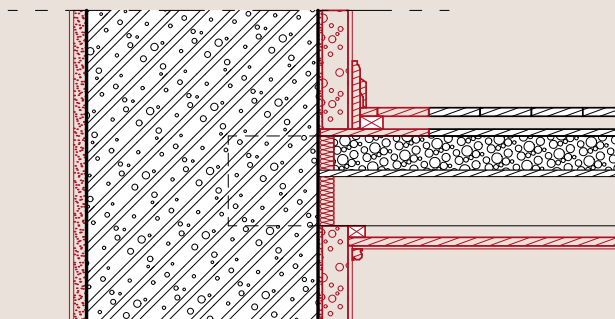


**U: 0.25 W/m²K**

SIA 380/1:2016 ponctuelle ●

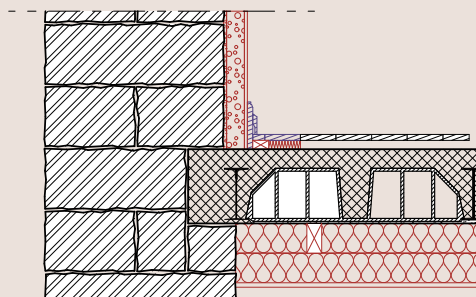
SIA 380/1:2016 globale ●

SIA 180:2014 ●



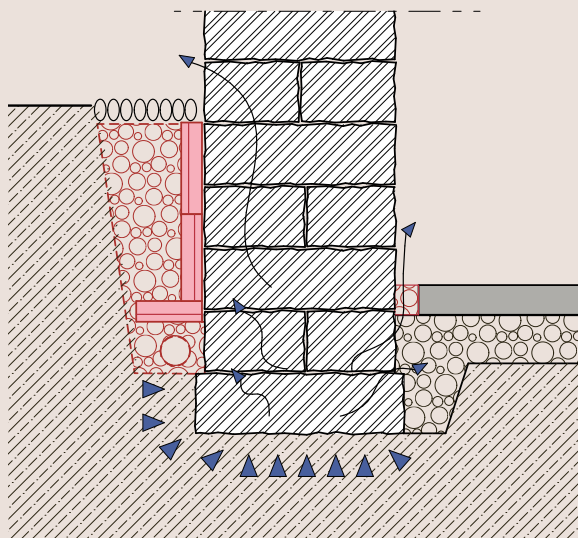
Tête de poutre en bois isolée avec 2 cm de laine de chanvre.

## Points d'attention et propositions de solutions



### Socle

Les socles des bâtiments anciens en pierre naturelle apparente résistent bien aux sollicitations mécaniques. Ces parties ne permettent pas l'application d'un crépi isolant et doivent être isolées par l'intérieur pour améliorer les pertes thermiques. Les panneaux en silicate de calcium, ouverts à la diffusion de vapeur, permettent de réduire les pertes et de gérer l'hygrométrie du mur.



### Soubassement

Les bâtiments anciens ne disposent pas d'étanchéité horizontale contre le terrain: l'humidité naturellement présente dans le terrain remonte par capillarité dans les murs en moellons. Cela peut causer des dégâts, d'autant plus si l'on recourt à des étanchéités bitumineuses, des isolants et matériaux étanches qui empêchent le séchage vers l'intérieur et l'extérieur. On optera pour des bandes en gravier (matériau minéral permettant à l'air de circuler et d'évacuer l'humidité) le long des murs et des plaques filtrantes. Une ventilation suffisante des locaux est indispensable. Pour éviter des dégâts lors de fortes pluies, les eaux de toitures ne doivent pas arriver dans les drains.





### **Les matériaux biosourcés**

Les biosourcés sont des matériaux aussi bien de construction (structure) que d'isolation issus de ressources végétales, animales ou minérales naturelles. Il s'agit, largement en tête, du bois (structure ossature bois, panneaux isolants en fibre de bois, laine de bois, etc.), mais aussi de la paille, du liège, du chanvre, du lin, de l'ouate de cellulose, de l'argile et même de matériaux issus de champignons (mycomatériaux). Ces matériaux ont une performance énergétique en général légèrement moins bonne que les isolants standards, mais le bilan en termes d'énergie grise fait la différence: en valorisant des matières naturelles qui nécessitent peu de transformation avec des circuits courts, la production des matériaux biosourcés a un impact environnemental bien moindre que celle, par exemple, des parpaings de béton, de la laine de verre ou du polystyrène. De plus, par leurs capacités à évacuer la condensation et à réguler l'humidité, ils favorisent un meilleur climat et réduisent le développement de moisissures.



# Fenêtres

Les fenêtres anciennes possèdent une importante valeur patrimoniale. Elles sont composées d'un rapport plein-vides caractéristique, et présentent généralement un équilibre entre contraintes techniques et qualités esthétiques. Élément essentiel dans la composition de la façade, la fenêtre joue aussi un rôle déterminant dans la valeur de l'espace intérieur, apportant lumière et confort. Leur remplacement est souvent synonyme de modification des proportions générales et réduction de la surface vitrée (un cadre récent est souvent plus large), ainsi que de perte des caractéristiques décoratives (verre soufflé ou étiré, moulures, système de fermeture, etc.).

## La fenêtre, victime de préjugés

S'il est bien une fausse croyance en matière de rénovation, elle concerne les fenêtres: leur remplacement est souvent perçu à tort comme la rénovation prioritaire pour gagner en efficacité énergétique. Les fenêtres ne sont parfois responsables que d'une très petite part de la perte énergétique. Cela dépend bien évidemment du rapport entre les surfaces pleines et les surfaces vitrées. Le cas détaillé en p. 38-41 indique par exemple une perte énergétique de 13% pour les fenêtres contre 16% pour le plancher et 51% pour les parois.

Outre la perte de valeur patrimoniale et les aspects esthétiques déjà évoqués, le remplacement des fenêtres anciennes par des menuiseries hautement hermétiques engendre souvent des problèmes de condensation liés à une ventilation insuffisante, avec les conséquences que nous connaissons. Par ailleurs, le triple vitrage présente un mauvais bilan carbone au niveau de sa production et de son transport: il nécessite en effet des matières premières abondantes et non recyclables pour le moment, et est très lourd à transporter et à mettre en place. Le rapport avantages/inconvénients tend à compromettre ou du moins mesurer son utilisation. De nouvelles générations de verres sous vide moins épais arrivent toutefois sur le marché.

Heureusement, en matière de fenêtres, les possibilités sont légion, ce qui permet de trouver la solution la plus adaptée à chaque situation (voir tableau en p. 22). Plutôt que de changer toute la fenêtre et donc de porter atteinte à l'identité architecturale du bâtiment, il est possible de ne changer que le verre en conservant le cadre ou de maintenir la fenêtre d'origine en l'état et d'y ajouter une seconde fenêtre intérieure ou extérieure. Des artisans spécialisés et outillés en conséquence peuvent aussi fabriquer des copies des fenêtres préexistantes. À noter que la plupart des menuisiers ne sont plus équipés pour réaliser les moulures d'encadrement anciennes, d'où l'importance de s'adresser à des artisans spécialisés comme les ébénistes et parfois directement à des vitriers.

# Points d'attention et propositions de solutions

## Cadre

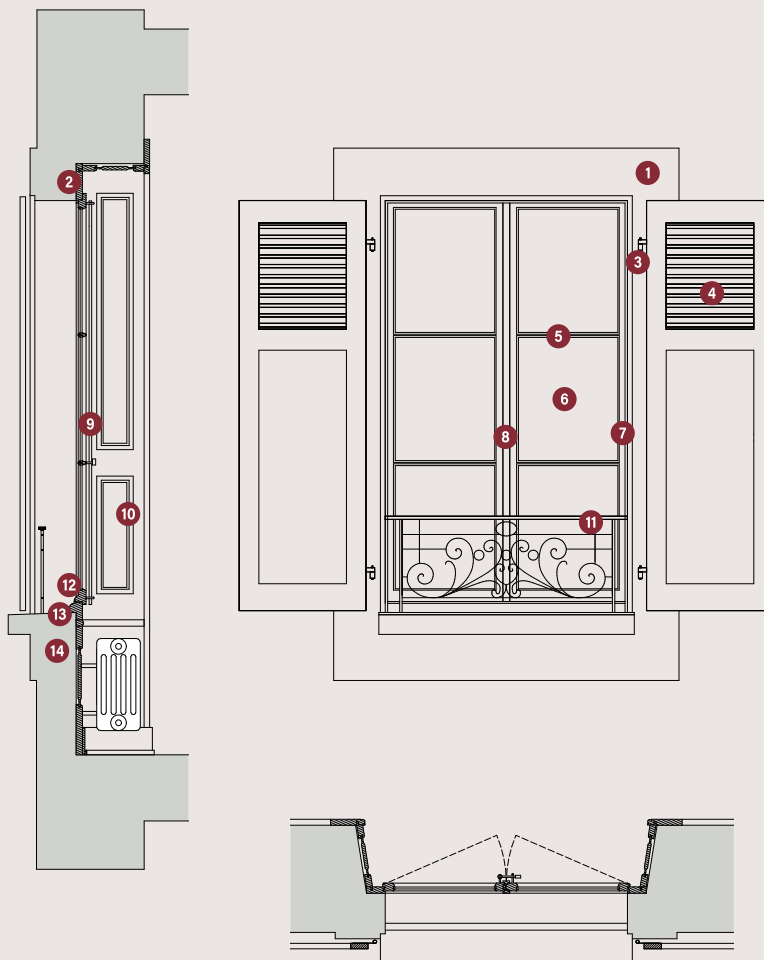
La performance des cadres en bois a peu évolué dans le temps. Il est judicieux de les conserver, de les rénover et d'améliorer leur étanchéité à l'air.

## Verre

La performance des verres a été considérablement améliorée. On trouve aujourd'hui des triples verres avec des valeurs entre 0.5 et 0.9 W/m²K\* et des doubles à 1.0 W/m²K; par comparaison, un simple vitrage ancien a une valeur d'environ 5.0 W/m²K\*. Ces produits sont dotés de couches sélectives et parfois de gaz nobles comme le Krypton. La performance annoncée diminue toutefois avec les années par évaporation du gaz, et, à ce jour, il n'existe pas de filière de recyclage pour ces verres, ce qui nuance fortement leur impact climatique. Par ailleurs, le remplacement des verres n'est pas anodin, car les anciens verres ne sont pas lisses. Soufflés ou étirés, ils créent une vibration qui donne du caractère, tandis que les verres actuels sont plats (float) et brillants. Les verres étaient fixés au moyen d'un mastic peint à solins qui s'emploie toujours pour les réparations et les nouvelles fenêtres historiques.

## Intercalaire

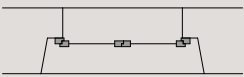
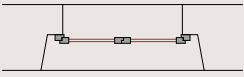
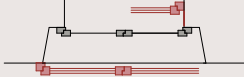
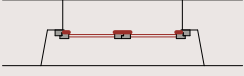
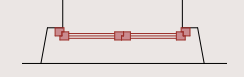
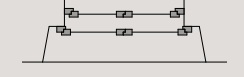
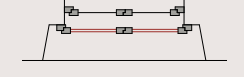
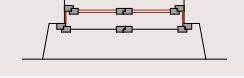
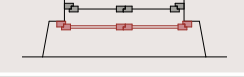
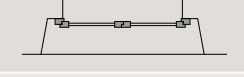
L'intercalaire est la partie apparente entre deux couches de verres le long du cadre. Il est aujourd'hui en matière synthétique performante. Un choix de couleur adapté diminue leur impact visuel, par exemple brun ou noir pour une fenêtre en bois naturel.



- |                                                              |                                            |
|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 1. Encadrement                                               | 8. Meneau central symétrique               |
| 2. Cadre dormant, le cochonnet est visible<br>1-2 cm maximum | 9. Espagnolette ou crémonne                |
| 3. Paumelle                                                  | 10. Boiserie d'embrasure                   |
| 4. Volet en bois, peinture à l'huile                         | 11. Garde-corps, à réhausser si nécessaire |
| 5. Croisillons / petit-bois                                  | 12. Renvoi d'eau en bois                   |
| 6. Verre                                                     | 13. Pièce d'appui                          |
| 7. Cadre ouvrant                                             | 14. Contre-cœur (point faible thermique).  |

Dans un souci patrimonial et écologique, il est important de respecter les matérialités et l'expression d'origine de l'ensemble de la fenêtre.

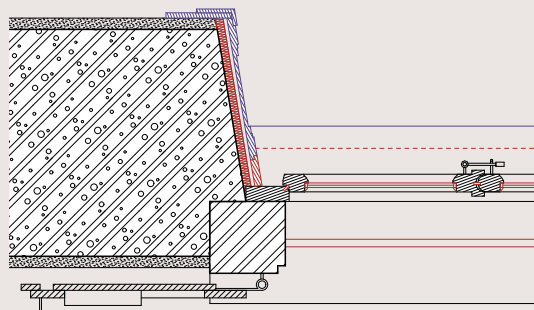
# Stratégies de rénovation

|    |                                                                                     |                                                                                  | Uw W/m²K | Uf  | Ug  | TL   | g    |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|----------|-----|-----|------|------|
| A0 |    | FENÊTRE ANCIENNE SIMPLE VITRAGE, AVANT 1925                                      | 5.3      | 1.8 | 6.0 | 0.88 | 0.92 |
| A1 |    | Changement du verre<br>Double vitrage isolant sous-vide                          | 1.1      | 1.8 | 0.7 | 0.80 | 0.62 |
| A2 |    | Ajout d'une nouvelle fenêtre bois (int. ou ext.)<br>Triple vitrage isolant       | 0.8      | 0.9 | 0.6 | 0.64 | 0.57 |
| A3 |    | Adaptation du cadre<br>Double vitrage isolant                                    | 1.3      | 1.8 | 1.0 | 0.82 | 0.64 |
| A4 |    | Cadre neuf à l'ancienne<br>Double vitrage isolant                                | 1.2      | 1.4 | 1.0 | 0.82 | 0.64 |
| A5 |    | Cadre neuf en bois<br>Triple vitrage isolant                                     | 0.9      | 1.4 | 0.6 | 0.73 | 0.62 |
| B0 |    | DOUBLE FENÊTRE À L'ANCIENNE, 1880 - 1925                                         | 2.8      | 1.1 | 2.9 | 0.77 | 0.85 |
| B1 |   | Changement du verre fenêtre intérieure<br>Double vitrage isolant                 | 1.2      | 1.1 | 1.0 | 0.72 | 0.59 |
| B2 |  | Changement du verre fenêtre extérieure<br>Double vitrage isol. + isol. embrasure | 1.2      | 1.1 | 1.0 | 0.72 | 0.59 |
| B3 |  | Changement fenêtre intérieure<br>Double vitrage isolant                          | 1.2      | 0.9 | 1.0 | 0.72 | 0.59 |
| C0 |  | DOUBLE VITRAGE AVEC DOUBLE CADRE VISSÉ, 1925 - 1980                              | 2.9      | 1.8 | 2.9 | 0.73 | 0.78 |
| C1 |  | Changement d'un verre simple<br>Double vitrage isolant                           | 1.3      | 1.8 | 1.0 | 0.82 | 0.64 |

# Points d'attention et propositions de solutions

## Les petits-bois | croisillons

Ces divisions en bois contribuent au caractère des façades. Esthétiques, elles correspondent à une époque où des verres de grande taille ne pouvaient être produits. Il est possible de garder des verres séparés ou d'utiliser un grand verre partitionné avec des intercalaires, disposés au droit des petits-bois.

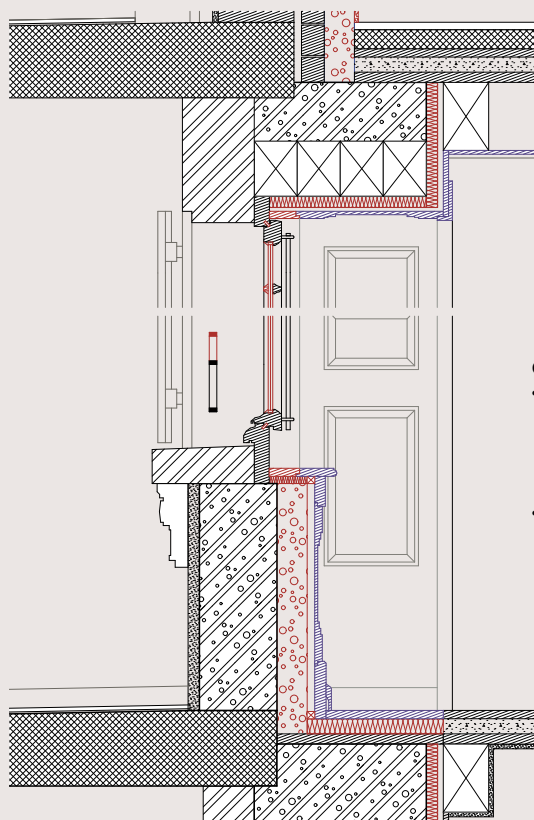


## Ferrements

Les anciennes fenêtres sont munies de crémones et d'espagnolettes. Ces produits sont toujours disponibles sur le marché suisse et sont à utiliser lors de réparations ou remplacements de fenêtres. Quant aux anciens gonds, ils ne sont pas toujours à même de supporter le poids de nouveaux verres et peuvent être complétés ou remplacés. Il n'existe actuellement pas de gonds historiques sur le marché suisse, mais seulement des capuchons reprenant leur forme.

## Volets | stores

Comme les fenêtres, les volets et volets à rouleaux sont constitutifs de l'expression de la façade. Ils étaient généralement réalisés en bois et il est facile de les entretenir, les réparer ou les refaire à l'identique.



### CHANGEMENT DU VERRE

- remplacement de l'ancien verre simple de 3-5 mm par un verre isolant sous vide haute performance d'une épaisseur de 6.2 mm
- pose de joints souples dans les battues des cadres (la gestion globale de la ventilation est impérative).



Intégration d'une grille  
hygroréglable dans le  
caisson de store.



Jean-Luc Rime

Travail artisanal de la  
fenêtre afin d'adapter  
les cadres à de  
nouveaux verres.



Jean-Luc Rime

Mauvais exemple de  
nouveaux garde-corps  
en verre très visibles.



Jean-Luc Rime

## Isolation et embrasures

Le raccordement de la fenêtre à l'embrasure doit être bien étudié, avec l'objectif d'assurer la continuité de l'enveloppe thermique et d'empêcher des infiltrations d'air malvenues. Le champ latéral des cadres de fenêtres devrait être séparé de la maçonnerie adjacente par un isolant souple, par exemple des nattes de chanvre. Les contre-cœurs sont en général moins épais que les murs et méritent d'être isolés. En présence de boiseries, il est possible de les déposer pour isoler les embrasures puis de les reposer. Dans certains cas, il est possible d'injecter de la ouate de cellulose entre les couches, mais cette solution dépend de la valeur des boiseries car elle implique de perforer le bois à intervalles réguliers. Les caissons des stores à rouleaux sont des points faibles dont l'étanchéité à l'air et l'isolation doivent être améliorées.

## Aération et ventilation

Les infiltrations d'air sont source d'inconfort lors des périodes froides. Il est possible d'améliorer les fenêtres pour limiter les infiltrations en réglant les ferments et en insérant des joints souples dans des rainures nouvelles. Toutefois, ce défaut d'étanchéité offre une ventilation naturelle qui limite les problèmes de condensation et de moisissures. En rénovant les fenêtres, il faut absolument veiller à conserver cette caractéristique.

Dans le cas de fenêtres conservées, il est possible de ne pas mettre de joints sur toutes les fenêtres pour assurer une certaine ventilation naturelle. Si une dépression est provoquée par une ventilation mécanique simple flux, il est possible d'intégrer des réglottes à feuillure entre le cadre et le vantail. Ce dispositif est invisible

lorsque le vantail est fermé. Les débits d'air de ces produits sont toutefois limités ( $8\text{m}^3/\text{h}$ ). Il est très aisé d'intégrer des réglettes hygroréglables dans les faces intérieures des caissons de stores. Sur les fenêtres neuves, ce même type de réglettes doit impérativement être installé pour assurer des débits entre 20 et  $45\text{m}^3/\text{h}$ .

L'installation d'une ventilation double flux avec échange de chaleur permet de se passer de ces dispositifs.

### Garde-corps et sécurité

Les exigences pour des bâtiments neufs figurent dans la norme SIA 358:2010 Garde-corps. Toutefois, le bureau de prévention des accidents BPA a établi des recommandations plus restrictives et certaines autorités communales y font référence ou ont établi leurs propres règles.

Dans le cas d'un bâtiment existant, la mesure prise devrait être proportionnelle au risque encouru, et l'application de la norme doit bénéficier d'une certaine souplesse. La pose d'un verre de sécurité extérieur jusqu'à une hauteur d'un mètre est une solution malheureuse. L'adaptation ou la création de garde-corps métalliques est en règle générale plus appropriée. Dans certaines situations, il est possible de fixer un compas au sommet de la fenêtre pour limiter son ouverture à 12 cm.



Bâtiments scolaires Gönhard à Aarau qui ont été rénovés selon le standard Minergie en 2012. Tous les éléments caractéristiques des années 1950 ont été préservés. Le prix Wakker 2014 a été décerné à la Ville d'Aarau pour son engagement dans la rénovation, la densification et la mise en valeur de structures bâties existantes.

Jean-Luc Rime

# Toiture

La toiture est un enjeu crucial de la restauration pour deux raisons. D'une part, elle présente un fort potentiel de gain énergétique, ce qui se traduit directement par une augmentation du confort et une baisse des consommations et donc des charges à payer. D'autre part, le toit est un élément marquant de l'identité architecturale du bâtiment: la forme de la toiture, ainsi que son aspect, en lien avec les matériaux de couverture, sont en effet caractéristiques d'un type de bâtiment et d'une époque.

## La toiture: une priorité

La première mesure à prendre pour une préservation optimale de la substance historique du bâtiment réside dans le choix du matériau, qui devra en principe correspondre aux matériaux d'origine. Aspect, couleur et brillance sont les facteurs à considérer quel que soit le matériau (bois, tuile, ardoise, etc.).

L'épaisseur de l'isolation constitue un défi tout particulier car elle modifie le profil du toit. Afin de respecter les volumes existants et l'allure d'ensemble du bâtiment, plusieurs solutions simples et efficaces existent pour s'adapter aux différentes typologies de toiture.

De plus, les toitures anciennes n'étaient pas conçues pour être isolées. Leur isolation modifie les équilibres hygrothermiques et peut générer une condensation interstitielle engendrant le développement de moisissures et champignons qui pourraient rapidement endommager la charpente de manière irréversible.

Par ailleurs, les toitures anciennes hébergent souvent des oiseaux et il faut mettre en œuvre une rénovation favorable à la biodiversité.

## La biodiversité: un autre enjeu de la restauration

Bien souvent, les bâtiments historiques sont par nature favorables à la faune et à la flore. Les sous-toits accueillent en particulier des oiseaux, et les façades sur lesquelles on aura laissé pousser la végétation grimpante offrent des espaces de vie aux insectes, entre autres. Dans le cadre d'une rénovation, il est primordial d'éviter de perturber la biodiversité installée en préservant les espaces propices. Il faut même veiller à renforcer le potentiel d'accueil, par exemple en intégrant des nichoirs pour les oiseaux. La période des travaux devrait aussi tenir compte du calendrier biologique des espèces présentes. Le canton de Vaud a d'ailleurs légiféré en ce sens, en interdisant par exemple certains travaux pendant les périodes de nidification.



Exemples d'intégration de la biodiversité dans le bâtiment: nichoirs pour hirondelles des fenêtres.

Atelier d'architecture espaces & environnement

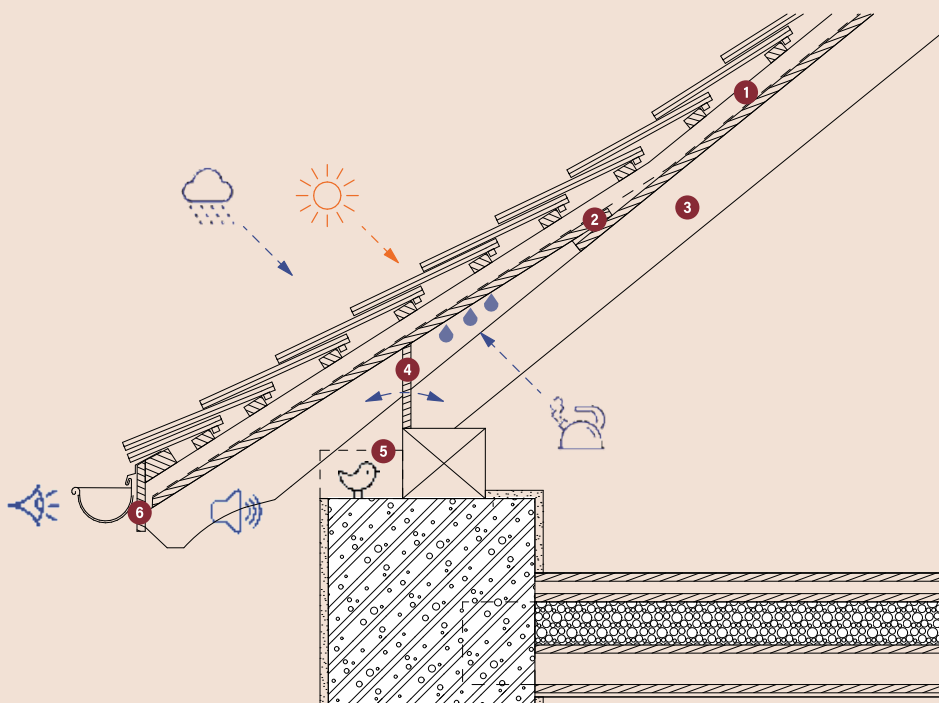
# Points d'attention et propositions de solutions

## Physique du bâtiment

L'isolation des toitures anciennes modifie l'équilibre hygrothermique des charpentes en bois. L'amélioration thermique ne doit pas bloquer le flux de vapeur d'eau ni confiner l'humidité. Il faut veiller à utiliser des matériaux présentant des résistances à la diffusion de vapeur strictement décroissantes de l'intérieur vers l'extérieur. Tout joint mal réalisé crée un pont thermique qui se révèle source de déperdition et de condensation. Moisissures et pourrissement apparaissent dès que le bois reste trop longtemps humide. Dans le bâti ancien, il est donc indispensable de privilégier des produits respirants, capables de gérer les échanges de vapeur d'eau.

## L'isolation et le frein vapeur

Les fibres biosourcées telles que la laine de bois, de chanvre, de mouton, de lin ou un flochage à la cellulose assurent une meilleure régulation de l'humidité. Ils nécessitent toutefois l'adjonction d'un frein vapeur à diffusion variable posé du côté chaud de l'isolation. La pose de cette couche requiert un savoir-faire et une grande rigueur, car elle ne doit jamais être percée pour rester efficace. Les feuilles doivent être parfaitement collées entre elles et contre les supports avec des bandes autocollantes spécifiques à haute performance. Dans un bâtiment ancien, l'irrégularité des supports rend la chose complexe. De plus, la durée de vie de ces bandes est limitée. Il existe des systèmes de frein-vapeur dits hygrovariables qui ont la capacité d'ajuster leur perméabilité à la vapeur en fonction de sa présence.

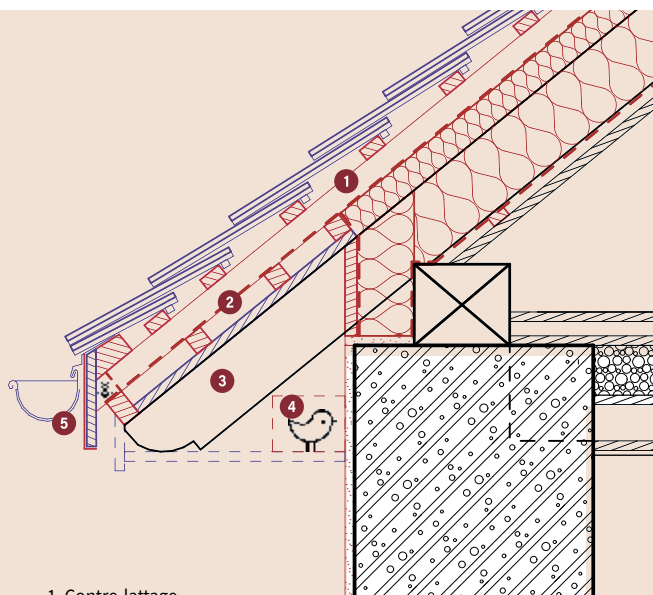


Toiture existante à brisis

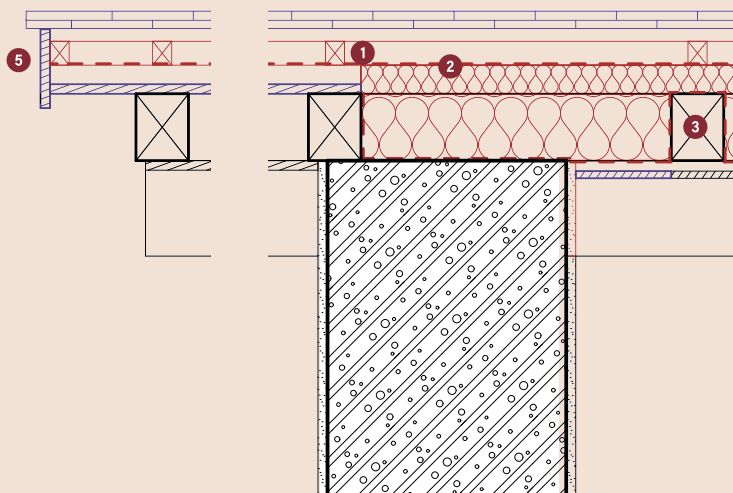
### Couverture, préserver la substance historique

1. Contre-lattage: assurer la ventilation, limiter la surchauffe en été
2. Sous-couverture: impérativement ouverte à la diffusion de vapeur pour éviter tout risque de condensation  
Attention: retirer Eternit GEA ou carton bitumé existants
3. Chevrons: éviter la surcharge de la structure existante
4. Planche de fermeture: assurer l'étanchéité à l'air et la protection phonique
5. Nichoir à oiseau: intégrer la faune pour préserver la biodiversité
6. Larmier: veiller à la finesse des larmiers et des avant-toits





1. Contre-lattage
2. Sous-couverture
3. Chevrons
4. Espace biodiversité
5. Rives



#### Isolation entre et sur chevrons

U rénové: 0.25 / 0.20 W/m²K\*

- Lé de sous-couverture ouvert à la diffusion de vapeur
- Sous-couverture rigide, fibre de bois,  $\lambda = 0.04$  W/mK, 40 / 80 mm
- Isolation fibre de bois,  $\lambda = 0.036$  W/mK, entre chevrons, 140 mm
- Frein-vapeur à diffusion variable

### La charpente

Il est nécessaire de garantir la bonne ventilation des bois de charpente et des supports de couverture. Idéalement, il faut soit les inclure dans les volumes chauffés, soit les en exclure totalement. Il faut éviter les surépaisseurs afin de ne pas modifier la silhouette. Lorsqu'on transforme une toiture, les nouveaux matériaux entraînent une surcharge, ce qui nécessite de faire réaliser une vérification statique.

### La sous-couverture

La sous-couverture doit impérativement être ouverte à la diffusion de vapeur sous peine de retenir la vapeur dans l'isolation et la faire pourrir. Lorsqu'on isole une toiture existante par l'intérieur, il faut absolument vérifier la nature de la sous-couverture existante. Le carton bitumé ou l'Eternit GEA qui étaient couramment posés sont étanches et ne laissent pas diffuser la vapeur. Une sous-couverture sous forme de panneaux de fibres de bois sert également de complément d'isolation. Cela permet d'emballer complètement la structure en bois dans l'isolation et limite la condensation dans les poutres.

### Le contre-lattage

Le contre-lattage sert à la circulation de l'air sous la couverture et permet l'évacuation vers le bas de l'eau de condensation. Il est à dimensionner en fonction du type de couverture, de l'altitude, de la pente. Lors de la pose de tuiles ou panneaux photovoltaïques, le contre-lattage préconisé sera plus épais afin d'assurer la circulation de l'air et le refroidissement des éléments.



## Rives

L'isolation au-dessus des chevrons modifie la silhouette du toit. On peut minimiser cet impact au niveau des virevents et des larmiers en les divisant en deux parties. On procèdera parfois à un éventuel «blindage» de ferblanterie uniquement sur le larmier supérieur, le plus exposé aux intempéries.

## Lucarne

Les lucarnes servent à apporter de la lumière et assurer une ventilation des espaces sous la toiture. Il en existe de différentes formes et tailles: lucarnes rampantes, à croupe, jacobines, etc. Il est nécessaire de dissimuler au mieux l'épaisseur d'isolation ajoutée afin de ne pas les dénaturer. L'utilisation de blindage est à éviter; il faut privilégier des virevents bois à crémailière. L'utilisation d'isolants en couches minces à haute performance peut s'avérer utile pour conserver le plus grand vide de lumière possible ainsi que les proportions de la lucarne.

## Prises de jour

Il est important d'éviter un trop grand nombre de prises de jour, autant pour des raisons esthétiques que de surchauffe. De plus, il convient d'opter pour des formats étroits permettant de s'inscrire dans le chevronnage existant et de privilégier une pose affleurée des fenêtres de toit, plus discrète. L'utilisation de tuiles de verre est une autre solution qui permet de conserver la surface plane des pans de toit et leur texture. Les protections solaires extérieures ont un impact important et sont, si possible, à éviter.



Atelier d'architecture espaces & environnement

Rive de pignon, appelée virevent.



Primula Bosshard

Rive le long des gouttières, appelée larmier.



Atelier d'architecture espaces & environnement

Exemples de lucarnes.



Primula Bosshard

Exemples de prises de jour.

# Isolation extérieure

**A**lors que l'assainissement des bâtiments ayant une valeur patrimoniale devrait se faire dans le respect de leurs particularités architecturales, constructives et historiques, l'isolation extérieure, avec ses interventions d'emballage courantes appliquées de manière standard, nuisent généralement aux qualités architecturales et à la durabilité du bâtiment. Aplatissement et disparition des modénatures, enfoncement des fenêtres, réduction des vides de lumière liée à la couche d'isolation ajoutée provoquent une perte d'équilibre des plein-vides de la façade. Le remplacement des cadres de fenêtres en bois, la disparition des embrasures, des volets et l'appauvrissement de la mise en œuvre des crépis sont également synonymes de pertes de qualité architecturale. En ignorant les problèmes liés à la physique du bâtiment (ponts thermiques, ventilation insuffisante, condensation), une rénovation énergétique peut provoquer des dégâts et mettre en péril la substance du bâtiment sans forcément garantir l'atteinte de l'objectif principal: l'amélioration de l'efficacité énergétique.

Une isolation extérieure doit être planifiée avec soin pour régler les nombreux détails constructifs et les ponts thermiques tout en préservant le caractère et les proportions des façades. Il est par exemple possible de travailler avec des stratégies de compensation en préservant les façades richement décorées et en appliquant un crépi isolant ou une isolation extérieure sur les façades arrière, les façades sur cours, les attiques en retrait ou les façades pignons souvent plus modestes.

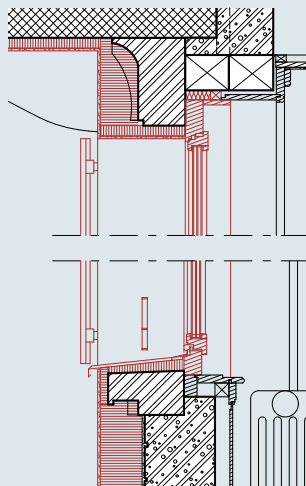
## Projet global

Les interventions ponctuelles non réfléchies au niveau du détail constructif ou l'emballage systématique en isolation périphérique modifient l'image du bâtiment et en diminuent la valeur culturelle. Un projet global permet de définir les stratégies de compensation en identifiant les façades qui peuvent recevoir une isolation extérieure plus ou moins conséquente. Il est indispensable de dessiner les principaux détails constructifs pour trouver la meilleure solution qui permette de maintenir les proportions, trouver le matériau adapté et de résoudre les ponts thermiques.

## Durabilité

Pour des raisons de performance thermique et de coût, la plupart des isolations extérieures sont faites à l'aide de produits pétroliers légers (EPS, XPS, PUR) qui manquent d'inertie. Ce manque d'inertie favorise la condensation en surface entraînant l'apparition d'algues ou de mousses sur les façades. Pour pallier au problème, les crépis intègrent des fongicides qui eux-mêmes génèrent la pollution des eaux. Les isolants plastiques et crépis synthétiques ne permettent pas (ou peu) la diffusion de vapeur. Le choix d'une isolation minérale et d'un crépi minéral (chaux ou silicate) épais permet d'atténuer cette problématique, mais, en regard des éléments qu'elles remplacent, les isolations périphériques posent de véritables questions de durabilité.

L'isolation extérieure améliore parfois les performances énergétiques au détriment de la qualité des matériaux d'origine et du caractère du bâtiment. Le plastique et les tablettes en aluminium ne remplaceront jamais la pierre aussi bien dans ses propriétés esthétiques que techniques.



Stefanie Schwab

Une isolation périphérique standard péjore le caractère du bâtiment et du quartier, site ISOS d'importance nationale.



Caroline Bruegger

# Points d'attention et propositions de solutions



## Stratégie de compensation

La pose d'un crépi isolant de quelques centimètres seulement sur la façade principale du bâtiment préserve son aspect, en particulier en respectant le relief des encadrements de fenêtre en pierre et en maintenant les volets existants. En compensation, une façade arrière banale et peu visible pourrait être isolée par l'extérieur.



## Isolation et crépi différencié

L'aspect extérieur d'un bâtiment peut aussi être reconstitué au-dessus de l'isolation périphérique épaisse (env. 20 cm). Il s'agit de créer une différenciation de granulométrie du crépi entre la façade et les encadrements, ces derniers recevant un traitement moins grossier que le reste de la façade.



## Isolation et réemploi

Une autre solution consiste à déposer les encadrements de fenêtres pour les replacer après la pose de l'isolation périphérique épaisse. Cette mesure est complétée par la pose de nouvelles fenêtres bois-aluminium peintes, de stores à lamelles et d'un crépi fin sur les façades.



## Isolation et reconstruction

La reconstruction est une autre solution. Elle consiste à reconstruire des encadrements en éléments de ciment préfabriqués et isolés, accompagnés de coulisseaux de stores à l'extérieur pour réduire la profondeur de l'embrasure et d'un crépi fin pour les façades.



### Continuité de l'enveloppe

Dans certains cas, il est possible d'isoler une façade plus modeste avec une isolation extérieure. Un soin particulier doit être apporté aux détails pour préserver les caractéristiques et atténuer les ponts thermiques.

### Avant-toit

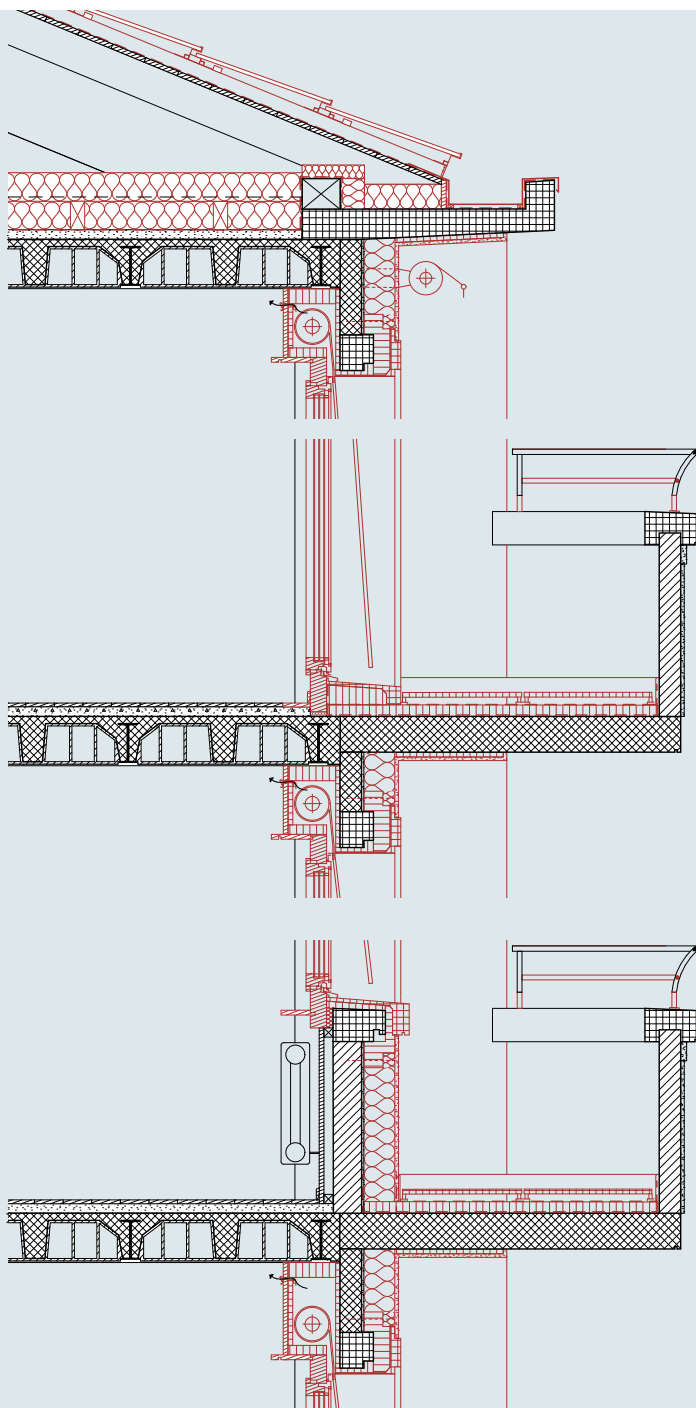
Les avant-toits ou corniches en béton présentent des ponts thermiques linéaires. Afin d'atténuer le risque de condensation et de moisissures à l'intérieur des logements, une fine couche d'isolation est ajoutée en-dessous et au-dessus de l'avant-toit. Pour réduire l'impact visuel, l'isolation reste légèrement en retrait.

### Balcon

Afin d'atténuer le pont thermique créé par la dalle du balcon, une isolation est posée au-dessus et au-dessous. La pente intégrée à l'isolation assure l'évacuation de l'eau vers l'écoulement. Le remplacement du seuil de la porte par un seuil préfabriqué en ciment isolé permet de raccorder l'étanchéité. Il est souvent nécessaire de rehausser le garde-corps afin de respecter la hauteur minimale de 100 cm (ou 90 cm si la largeur est d'au moins 20 cm).

### Fenêtres et caisson de store

Pour rendre leur relief aux fenêtres, de nouveaux encadrements en composite de ciment-verre peuvent être ajoutés. Leur épaisseur est réduite au minimum afin de conserver au mieux les proportions des ouvertures et un maximum de vide pour l'apport de lumière. Les caissons de store intérieurs sont isolés ou remplacés par des caissons isolés intégrant une grille hygroréglable qui permet de garantir un apport d'air suffisant.





# Installations techniques et capteurs solaires

**A**méliorer l'enveloppe du bâtiment est un élément fondamental de sa performance énergétique, mais cela doit s'accompagner d'une réflexion sur la production d'énergie: comment chauffer et ventiler le bâtiment? C'est en effet bien souvent le remplacement d'une chaudière à énergie fossile par une installation plus durable qui permet de réduire sensiblement les émissions de gaz à effet de serre.

## Production de chaleur

Les bâtiments patrimoniaux sont la plupart du temps chauffés avec des radiateurs anciens fonctionnant à haute température: 70°C et même plus dans certains cas. Lorsqu'il est question de remplacer le producteur de chaleur ancien à mazout ou à gaz, il peut être difficile de s'y retrouver parmi les solutions disponibles: chauffage à distance (CAD), chaudière à pellets, pompe à chaleur sol-eau avec sondes géothermiques (PAC sol-eau), pompe à chaleur air-eau (PAC air-eau), solaire thermique. Afin de faciliter la prise de décision, il est possible de procéder par élimination en se posant ces questions assez tôt dans la planification: ai-je une parcelle à disposition au-delà du bâtiment? À quelle distance se situent les voisins et quel est le niveau de bruit admis sur la parcelle? Les forages sont-ils autorisés sur la parcelle? Quel est le niveau de température de la distribution de chaleur planifié après travaux? Ai-je un local à disposition à côté de la chaufferie pour stocker du combustible? Y-a-t-il des exigences cantonales ou communales spécifiques à respecter lors de mon changement de chauffage?

Les bâtiments protégés situés dans les bourgs historiques ou les centres urbains sont souvent mitoyens. La parcelle où est situé le bâtiment peut alors ne pas avoir de surface disponible au-delà de la construction. Il ne sera donc pas possible de mettre en œuvre des sondes géothermiques qui doivent être réalisées hors du bâtiment. S'il n'y a pas de local disponible en plus du local technique, il pourrait alors être intéressant de se raccorder à un CAD dispo-

nible dans la rue. Dans le cas où un local de stockage de combustible est présent, par exemple lorsqu'une chaudière à mazout est remplacée libérant le local citerne, une chaudière automatique à pellets est alors bien adaptée. Des panneaux solaires thermiques viennent idéalement compléter une production de chaleur automatique à bois, car ils peuvent même assurer seuls la production d'eau chaude sanitaire (ECS) hors période de chauffe si leur surface est suffisante. Les producteurs de chaleur de type CAD et chaudière à pellets sont très efficaces peu importe le niveau de température de la distribution de chaleur par radiateurs.

Avec une PAC sol-eau, il faut s'assurer que les travaux de rénovation permettront au bâtiment de fonctionner avec le plus bas niveau de température de distribution possible dans les radiateurs, sans toutefois dépasser 50°C pour assurer un bon coefficient de performance ( $COP = \text{rendement de la PAC}$ ) pendant toute la période de chauffe. Pour bénéficier de subventions pour une PAC, l'enveloppe du bâtiment doit en outre atteindre au moins la performance énergétique de la classe E. L'idéal avec une PAC étant de pouvoir fonctionner avec un chauffage de sol dont la température n'excède pas 35°C, car plus la température de distribution est basse, meilleur sera le COP. Pour cette raison, une PAC air-eau ne devrait être utilisée qu'en dernier recours si la distribution de chaleur se fait au moyen de radiateurs, car son COP est le plus bas au moment le plus froid de l'année, la source de chaleur étant l'air extérieur. Avec une PAC, contrairement à une chaudière à pellets, il est préférable d'installer des panneaux solaires photovoltaïques pour produire en partie l'électricité qu'elle va utiliser.

En termes législatifs, dans le canton de Fribourg, l'installation de panneaux solaires photovoltaïques est actuellement obligatoire uniquement pour les bâtiments neufs, sauf en cas de législation communale plus exigeante déjà en vigueur. Il n'est en revanche plus possible de remplacer un producteur de chaleur fossile alimenté par

une même source sans réaliser de travaux compensatoires. Cette politique énergétique porte ses fruits, car la quasi-totalité des nouveaux producteurs de chaleur installés ces dernières années lors de remplacements sont maintenant renouvelables en raison des économies fiscales possibles et des subventions disponibles.

### Ventilation des bâtiments

Selon la norme SIA 180:2014, il est indiqué qu'un concept de ventilation doit être établi dès l'avant-projet. Cette exigence est en phase avec la réalité du terrain, car suite à l'évolution des techniques de construction, l'augmentation de l'étanchéité à l'air des fenêtres et des bâtiments s'est particulièrement accélérée depuis les années 2000. De nombreux bâtiments ne présentant pas de dégâts avant rénovation ont été le théâtre d'apparitions de moisissures parfois importantes suite au remplacement des fenêtres. Ces travaux ont simplement fait apparaître les défauts de constructions dus aux surfaces intérieures trop froides de l'enveloppe du bâtiment, restés invisibles jusqu'au remplacement des anciennes fenêtres peu étanches, qui assuraient donc la ventilation des locaux de manière insidieuse mais efficace. Il est donc nécessaire de savoir comment le bâtiment sera ventilé après travaux.

Plusieurs solutions existent:

- **Ouverture manuelle des fenêtres** plusieurs fois par jour. Cette variante peut être adaptée aux propriétaires consciencieux qui habitent eux-mêmes leurs biens. Elle est déconseillée pour les bâtiments locatifs.
- **Ventilation simple-flux-hygroréglable** fonctionnant en continu avec des débits d'air modulés selon l'humidité dans les locaux. Si cette solution est discutable sur le plan esthétique, elle est économique et peu invasive, car il n'y a qu'un réseau d'aspiration d'air (air repris) à créer depuis les locaux sanitaires



Emplacement possible pour la pose de capteurs photovoltaïques ne portant pas atteinte au site bâti.



Type de produit adapté: Solstis, Oryon.

Solstis

(cuisine, salle de bains) et des entrées d'air à placer sur les fenêtres des chambres et éventuellement dans le séjour.

- **Ventilation double-flux** avec récupération de chaleur. L'enjeu principal consiste à trouver l'emplacement pour le réseau d'air fourni dans les chambres et éventuellement dans le séjour et le réseau d'air repris dans les locaux sanitaires. Avec un travail soigné, il est possible de rendre l'installation pratiquement invisible, ce qui est particulièrement adapté aux bâtiments patrimoniaux. La récupération de chaleur permet en partie de compenser les améliorations qui peuvent parfois être limitées sur l'enveloppe du bâtiment en raison d'éléments protégés. C'est le système de ventilation le plus onéreux.

### Intégration du photovoltaïque et du solaire thermique

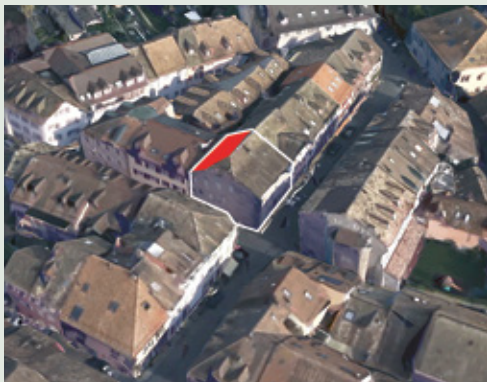
Il est important de prioriser la réduction maximale des besoins énergétiques des bâtiments avant de planifier de produire le plus d'énergie possible directement sur site. En faisant preuve de créativité lors de la pose de panneaux solaires, on peut trouver des solutions élégantes, peu visibles et produisant efficacement de l'énergie. L'intégration de panneaux solaires représente un enjeu important pour la préservation de l'aspect des toitures et des sites protégés. Il est recommandé de les poser en priorité sur des constructions annexes ou sur un pan de toit peu visible. En cas de pose sur la toiture principale, il s'agit de garantir une intégration architecturale et chromatique en limitant aussi les brillances; de nouveaux produits permettant une bonne intégration existent sur le marché, comme les tuiles solaires, mais il faut anticiper les délais de fourniture qui peuvent être longs. En outre, les cadres métalliques ne sont pas appropriés.

En cas de pose intégrée des panneaux solaires photovoltaïques, la sous-couverture de la toiture devra être réalisée en isolation incombustible d'au moins 60mm d'épaisseur conformément aux exigences en vigueur pour protéger efficacement le bâtiment en cas

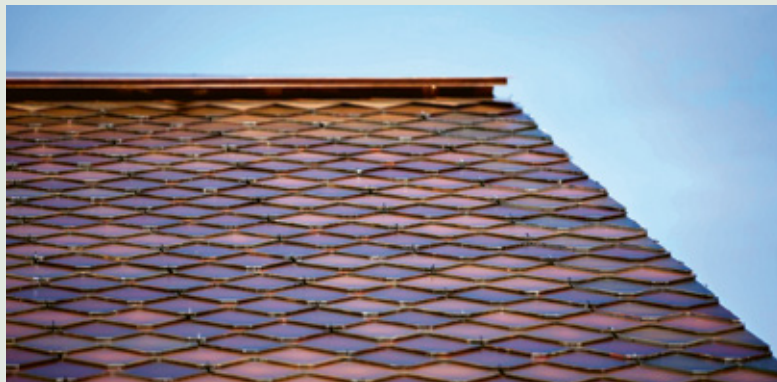
d'incendie des panneaux. Des subventions sont disponibles pour cette isolation particulière, rendant l'opération également intéressante du point de vue financier. Si d'anciennes tuiles sont encore présentes, une pose rapportée (c'est-à-dire à quelques centimètres au-dessus des tuiles) est à envisager. Si au contraire les tuiles anciennes sont remplacées, une pose intégrée à la toiture pourrait être planifiée mais chaque cas doit être discuté avec les autorités.

Depuis 2025, il est possible de créer des réseaux électriques virtuels. Dans le domaine du patrimoine on peut ainsi poser des capteurs solaires photovoltaïques sur des bâtiments non protégés dont la production sera reportée en faveur du bâtiment protégé.





Des tuiles solaires couvrent le pan de toiture côté cour.



Freesuns

Type de produit adapté: Freesuns, VDiamond Terracotta.



Intégration des panneaux photovoltaïques peu visible sur la partie supérieure de la toiture à Mansart.



Arres

Type de produit adapté: Arres, Arres 3.0 Premium L.

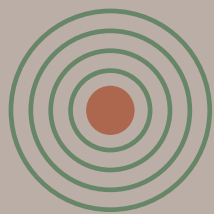


Vue aérienne de l'intégration des panneaux photovoltaïques sur la toiture plate.



Ville de Lausanne

Végétation et panneaux solaires font bon ménage. Cette combinaison améliore la performance énergétique en évitant les surchauffes.



# Étude de cas A1

## Maison paysanne des XVIII<sup>e</sup>-XIX<sup>e</sup> siècles

Stefanie **Schwab**, Institut TRANSFORM, Haute école d'ingénierie et d'architecture Fribourg,  
HES-SO Haute école spécialisée de Suisse occidentale et son équipe

Ce bâtiment rural typique des fermes vaudoises, recensé en note 3, se développe sur une partie habitation de deux étages avec un sous-sol partiel comprenant une cave voûtée en molasse, des combles non chauffés et une grange attenante. Les façades monolithiques du logis sont constituées de moellons crépis d'environ 60 cm d'épaisseur. Du côté de l'entrée, le socle est en pierre naturelle apparente. Les poutres des planchers sont en bois. Le bâtiment est caractérisé par sa grande toiture en pente recouverte de tuiles plates et les grands avant-toits fermés par un lambris en bois peint légèrement cintré et décoré au niveau du larmier et de la façade. Les embrasures des fenêtres et portes sont en molasse peinte. La porte d'entrée possède un encadrement décoré avec la date de construction (1874) et un écusson. Les angles de la bâtisse sont marqués par des chainages d'angle en molasse. Le pignon est recouvert par des plaques de fibrociment posées en losanges.

Les fenêtres en bois avec fermeture à espagnolette ne sont plus d'origine, suite à de lourdes transformations dans les années 1980. Le chauffage est assuré par des radiateurs électriques et la ventilation des locaux

se fait de manière naturelle par l'ouverture des fenêtres.

La stratégie consiste à mettre en œuvre un crépi isolant permettant de conserver les embrasures et éléments décoratifs en molasse et d'agir de manière plus importante sur le mur mitoyen côté grange, la toiture et les fenêtres. À l'intérieur, un crépi isolant sur les murs en moellons et de

nouvelles embrasures en bois isolées permettent d'atteindre les exigences globales. Le chauffage électrique est remplacé par un chauffage à pellets avec une nouvelle distribution hydraulique et une installation solaire thermique pour l'eau chaude sanitaire. Une étape de valorisation des combles complète l'intervention.



Institut TRANSFORM



# Stratégie de rénovation – enveloppe

## 1. Mur rural

Le mur mitoyen contre la grange non chauffée peut supporter une couche d'isolation extérieure plus importante, par exemple en chanvre projeté, complétée par un crépi isolant intérieur. Selon l'affectation future de la grange et les exigences incendie, un matériau incombustible (crépis isolant ou laine minérale) doit être choisi.

## 2. Plancher des combles

La dalle des combles est isolée avec de la fibre de bois ou une isolation en ouate de cellulose entre et par-dessus les solives afin d'atteindre assez aisément une bonne valeur isolante U.

## 3. Crépi isolant extérieur

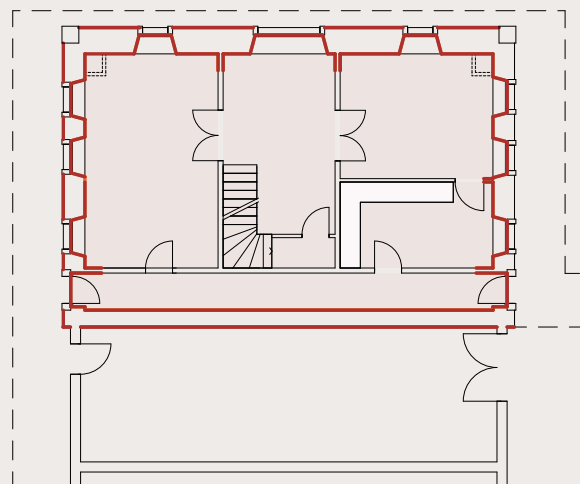
Les murs de façades sont décrépis et ensuite isolés avec un crépi isolant minéral ouvert à la diffusion de vapeur qui permet de préserver les détails en pierre naturelle des embrasures et du socle.

## 4. Fenêtres et embrasures

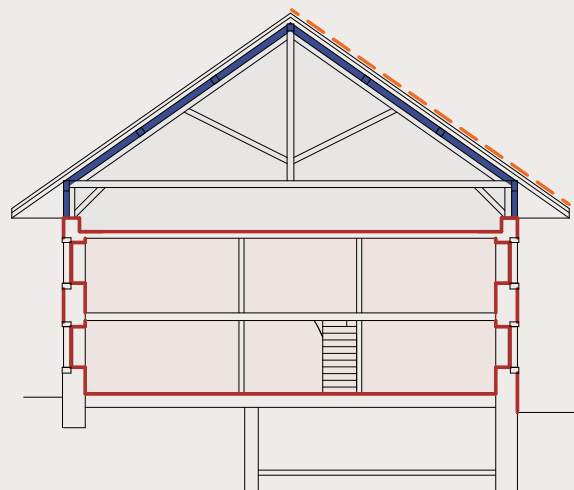
Les fenêtres sont remplacées par des fenêtres en bois triples vitrages avec des grilles hygro-réglables. Pour réduire les ponts thermiques et les problèmes de condensation, des nattes de chanvre sont posées dans les embrasures.

## 4'. Sol du rez

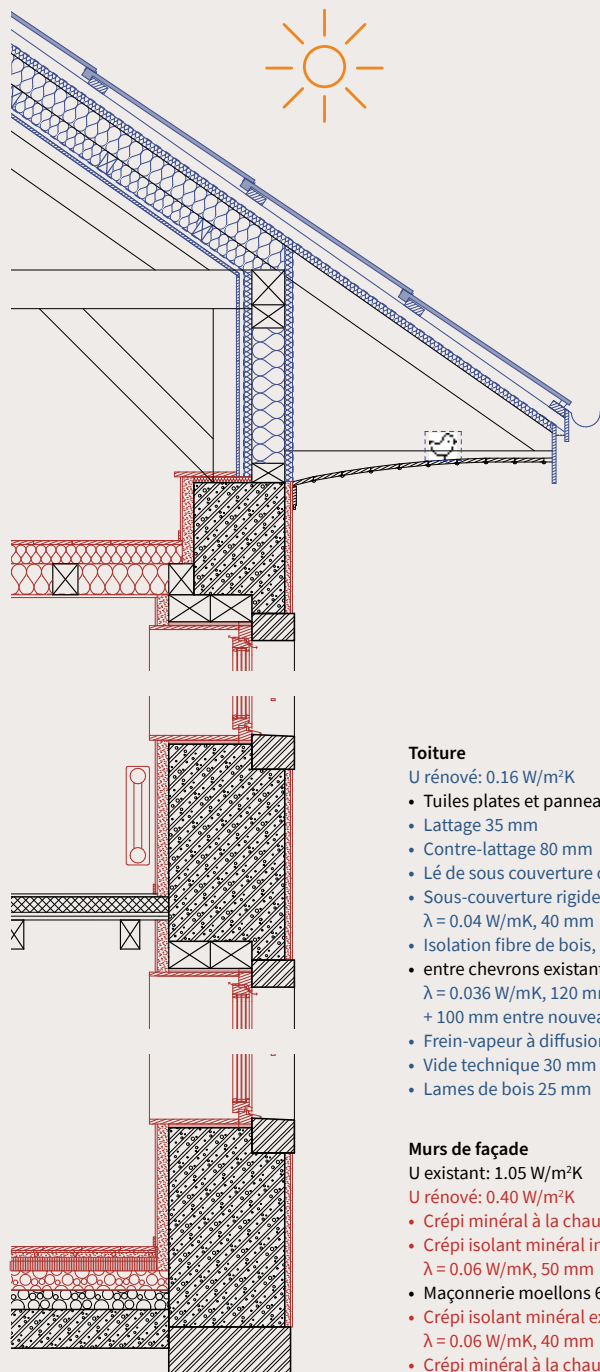
Au niveau du sol, une épaisseur d'isolation minimale permet d'améliorer les pertes thermiques et de conserver une hauteur habitable suffisante. Sur la cave voûtée, une couche de perlite égalise les niveaux et améliore la performance thermique du sol.



Plan du rez



Coupe



#### Toiture

U rénové: 0.16 W/m²K

- Tuiles plates et panneaux photovoltaïques
- Lattage 35 mm
- Contre-lattage 80 mm
- Lé de sous couverture ouvert à la diffusion
- Sous-couverture rigide, fibre de bois  
 $\lambda = 0.04 \text{ W/mK}$ , 40 mm
- Isolation fibre de bois,  
entre chevrons existants,  
 $\lambda = 0.036 \text{ W/mK}$ , 120 mm  
+ 100 mm entre nouveau châssis
- Frein-vapeur à diffusion variable
- Vide technique 30 mm
- Lames de bois 25 mm

#### Murs de façade

U existant: 1.05 W/m²K

U rénové: 0.40 W/m²K

- Crépi minéral à la chaux 10 mm
- Crépi isolant minéral int.  
 $\lambda = 0.06 \text{ W/mK}$ , 50 mm
- Maçonnerie moellons 600 mm
- Crépi isolant minéral ext.  
 $\lambda = 0.06 \text{ W/mK}$ , 40 mm
- Crépi minéral à la chaux 10 mm

## 5. Isolation intérieure

Un crépi isolant minéral d'environ 50 mm ouvert à la diffusion de vapeur est appliqué à l'intérieur sur les murs irréguliers en moellons afin d'atteindre les exigences globales.

## 6. Valorisation des combles

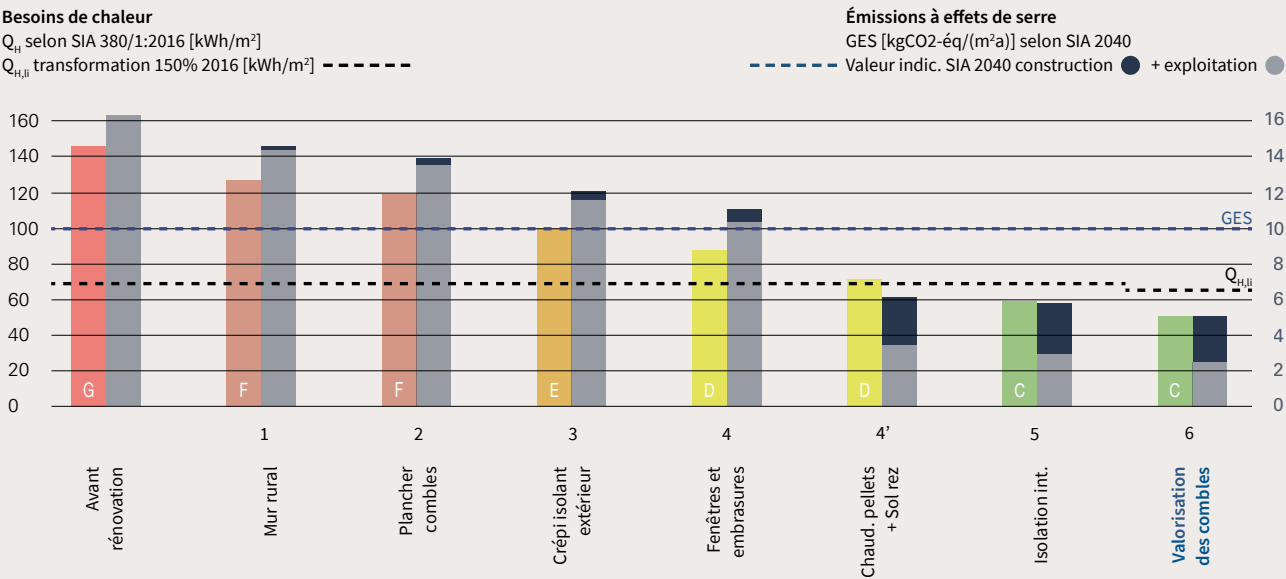
Les combles possèdent un volume exploitable intéressant. Une étape de valorisation prévoit leur aménagement avec une isolation en laine de bois entre les chevrons existants.

## Approche globale et limite de l'étude de cas

L'étude de cas illustre les mesures adaptées pour rénover énergétiquement les différents éléments de l'enveloppe. Les mesures sont planifiées selon leur degré de facilité de mise en œuvre. Selon la vétusté et la durée de vie des éléments, l'ordre proposé peut varier en fonction de chaque bâtiment.

En isolant les murs et dalles contre les espaces non chauffés et la façade par l'extérieur, le bâtiment atteint l'étiquette énergétique D. Pour répondre entièrement aux exigences légales et atteindre l'étiquette C, une isolation intérieure est nécessaire et devra être intégrée lors de la prochaine rénovation des locaux. D'autres contraintes, comme les exigences en matière de protection incendie, d'isolation phonique, la mise en conformité des éléments de sécurité ou la présence de substances nocives, influencent fortement un projet de rénovation. Des réflexions sur la pertinence de la typologie,

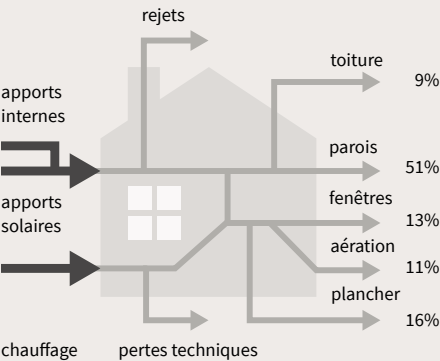
# Bilan énergétique et environnemental<sup>1</sup>



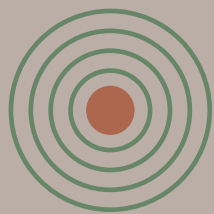
Les premières mesures de bon sens permettent d'atteindre la classe énergétique D. En remplaçant en plus le chauffage par une énergie renouvelable, le bâtiment remplit les objectifs en matière d'émissions de gaz à effets de serre.

l'usage ou le potentiel de densification peuvent apporter des plus-values au projet. En cas de travaux, une réelle étude de faisabilité par des professionnels qualifiés s'avère indispensable.

Pertes thermiques existantes



Le diagramme montre les pertes thermiques existantes à travers les différents éléments de l'enveloppe.



# Étude de cas F1

## Îlot urbain de la 1<sup>re</sup> moitié du XX<sup>e</sup> siècle

Stefanie **Schwab**, Institut TRANSFORM, Haute école d'ingénierie et d'architecture Fribourg, HES-SO Haute école spécialisée de Suisse occidentale et son équipe

Ce bâtiment d'habitation ouvrier, recensé en note 3, fait partie d'un îlot urbain caractéristique du début du XX<sup>e</sup> siècle. Il se développe sur quatre étages sur rez avec un sous-sol. Sous la toiture en pente, recouverte de tuiles mécaniques, se situent des combles non chauffés. Les façades sont constituées de moellons d'environ 55 cm d'épaisseur crépis à l'intérieur et à l'extérieur. Aux étages, les planchers sont en poutraison bois et, au niveau du rez, une dalle à hourdis repose sur le sous-sol.

La façade sur rue est rythmée, au rez-de-chaussée, par un crépi structuré et, aux étages, par des encadrements de fenêtres et corniches en pierre naturelle peinte. L'expression de la façade sur cour est plus modeste. Les fenêtres en bois d'origine ont été remplacées par des fenêtres en PVC doubles vitrages avec des volets métalliques. Les appartements ont été peu modifiés depuis la construction et ne disposent ni de balcons ni de salles de bains: une douche ouverte est intégrée dans la cuisine. La production de chauffage initialement par appartement a été remplacée par un chauffage central à gaz avec radiateurs à vannes thermostatiques dans les logements. La ventilation des locaux se fait de manière

naturelle par l'ouverture des fenêtres.

La stratégie proposée est de mettre en œuvre un crépi isolant sur les façades pour conserver ses caractéristiques et d'agir de manière plus importante sur la dalle des combles, celle du rez-de-chaussée et les fenêtres. À l'intérieur, une isolation en silicate de calcium du rez-de-chaussée et dans

les contre-cœurs permet d'atteindre les exigences énergétiques globales. Pour éviter l'isolation intérieure, une isolation extérieure côté cour peut offrir une occasion de revaloriser les logements en ajoutant des balcons. Une autre étape de valorisation en toiture permet d'aménager la surface des combles.



Rue



Cours

institut TRANSFORM



# Stratégie de rénovation – enveloppe

## 1. Plancher et plafond contre non chauffé

Si les combles ne sont pas valorisés, le plancher bois est isolé par le dessus avec de la laine de bois. Le plafond des caves est isolé par le dessous avec de la laine de bois. Les murs intérieurs de la cage d'escalier au sous-sol et des combles sont isolés avec un crépi minéral.

## 2. Isolation extérieure

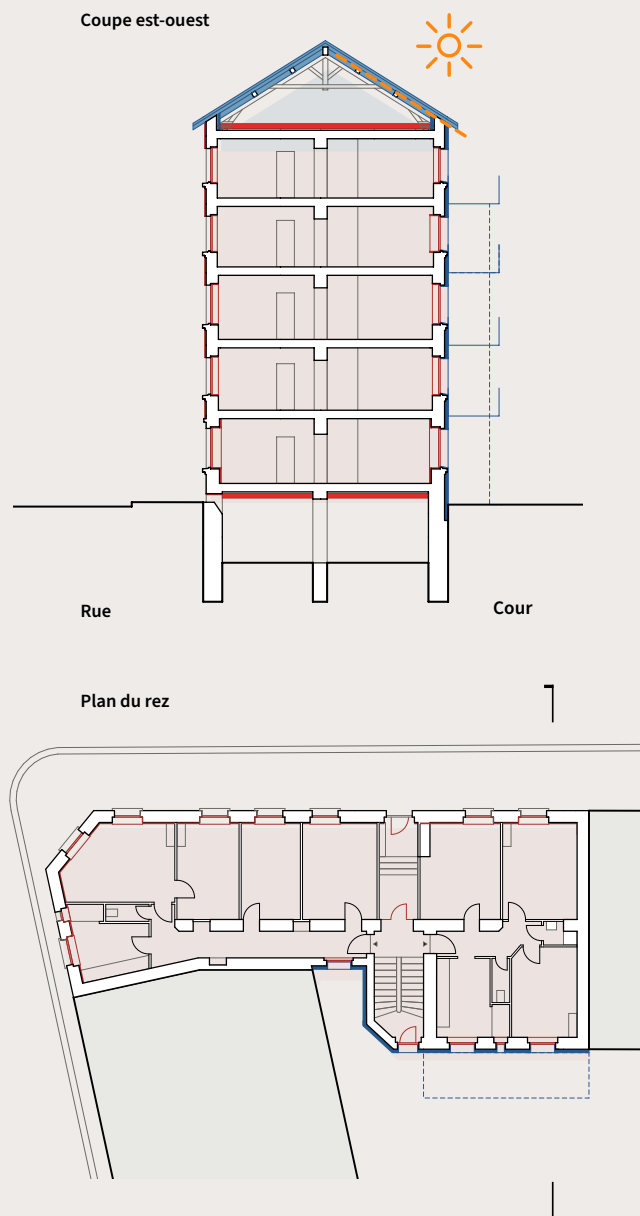
Le crépi ciment extérieur des façades existantes est piqué et remplacé par un crépi isolant minéral ouvert à la diffusion de vapeur qui permet de préserver les détails en pierre naturelle des embrasures.

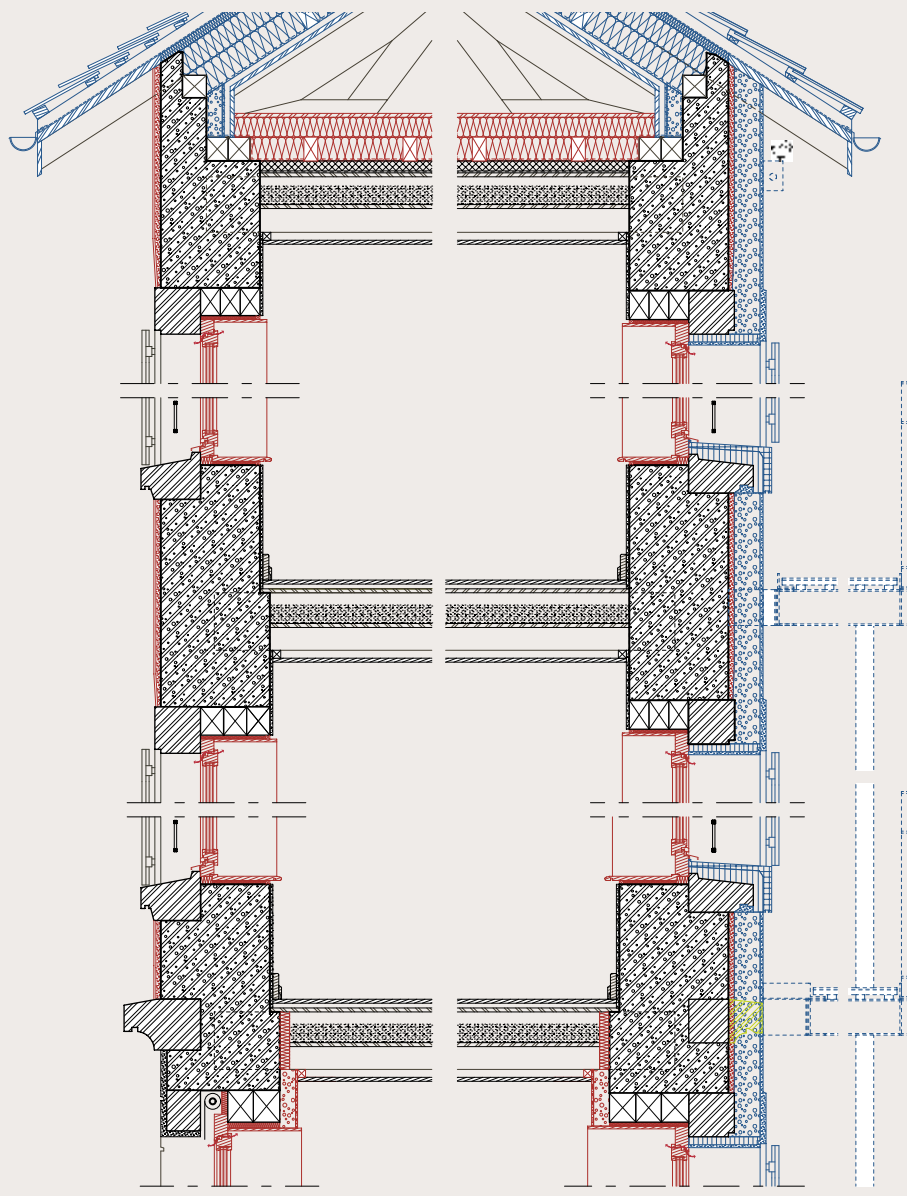
## 3. Fenêtres et embrasures

Les fenêtres en PVC doubles vitrages sont remplacées par des fenêtres en bois avec triples vitrages. Des grilles hygroréglables sont intégrées dans les cadres. Pour réduire les ponts thermiques et garantir l'étanchéité à l'air, des nattes de chanvre sont posées dans les embrasures et au niveau des têtes des poutres en bois.

## 4. Isolation intérieure

Afin de conserver l'expression du socle en crépi structuré, les murs du rez-de-chaussée côté rue et les contre-cœurs des fenêtres des cuisines – qui servaient de garde-mangers – sont isolés par l'intérieur avec une isolation en silicate de calcium de 80 mm ouverte à la diffusion de vapeur. Une isolation intérieure de tous les étages permettrait d'atteindre des performances élevées.





## 5. Valorisation

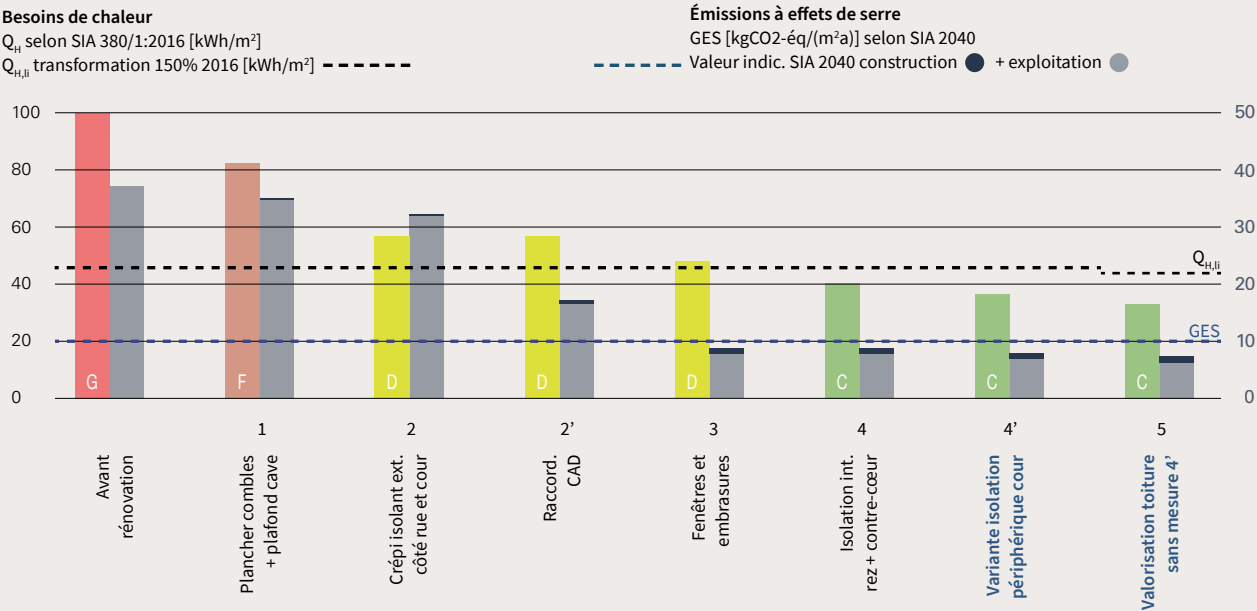
Pour éviter l'isolation intérieure, une isolation extérieure côté cour est envisageable si elle augmente la qualité des façades et des logements, par exemple en ajoutant des balcons. La toiture présente un volume exploitable intéressant et pourrait être isolée entre et sous chevrons pour aménager des appartements.

### Approche globale et limite de l'étude de cas

L'étude de cas illustre les mesures adaptées pour rénover énergétiquement les différents éléments de l'enveloppe. Les mesures sont planifiées selon leur degré de facilité de mise en œuvre. Selon la vétusté et la durée de vie des éléments, l'ordre proposé peut varier en fonction de chaque bâtiment.

En isolant les murs, les dalles contre les espaces non chauffés et les façades extérieures avec un crépi isolant, le bâtiment atteint l'étiquette énergétique D proche des exigences légales. Pour répondre entièrement à ces exigences, une isolation intérieure du rez-de-chaussée est nécessaire. Une isolation extérieure côté cour est envisageable si elle est planifiée avec qualité et soin et permet d'éviter une isolation à l'intérieur des logements. D'autres contraintes, comme les exigences en matière de protection incendie, d'isolation phonique, la mise en conformité des éléments de sécurité ou la présence de substances nocives, influencent fortement un projet de rénovation. Des réflexions sur la pertinence

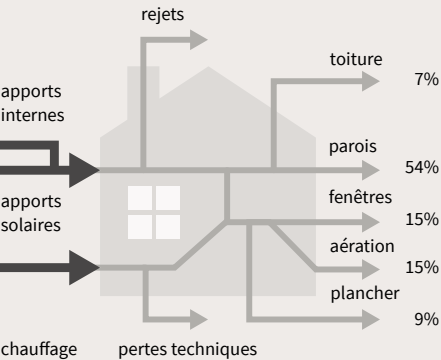
# Bilan énergétique et environnemental<sup>1</sup>



Les premières mesures de bon sens permettent d'atteindre la classe énergétique D, sans isolation par l'intérieur qui impliquerait un déménagement des locataires. En remplaçant en plus le chauffage par une énergie renouvelable, le bâtiment remplit les objectifs en matière d'émissions de gaz à effets de serre.

de la typologie, l'usage ou le potentiel de densification peuvent apporter des plus-values au projet. En cas de travaux, une réelle étude de faisabilité par des professionnels qualifiés s'avère indispensable.

Pertes thermiques existantes



Le diagramme montre les pertes thermiques existantes à travers les différents éléments de l'enveloppe.

# Exemples de bonnes pratiques

Anne-Catherine **Gillis**, Pro Fribourg, Théo **Perrelet**, ingénieur HES, Jean-Luc **Rime**, architecte HES

De la maison villageoise du XIX<sup>e</sup> siècle à la tour des années 1960, en passant par un bâtiment industriel des années 1970, trois rénovations illustrent l'efficacité de la méthode globale développée par l'Institut TRANSFORM.

La méthodologie de rénovation développée par l'Institut TRANSFORM et théorisées dans les fiches de bonnes pratiques TypoRENO-VD n'existe pas que sur le papier. Les architectes et ingénieurs l'appliquent dans leurs réalisations. Les exemples détaillés ci-après illustrent trois types de bâtiments d'époques et de fonctions différentes qui ont été rénovés selon la même méthodologie. Le premier est le cas d'une maison villageoise individuelle de la deuxième moitié du XIX<sup>e</sup> siècle située dans le district du Lac et classée pour ses caractéristiques architecturales intérieures comme extérieures. Le deuxième exemple est celui d'une tour d'habitation caractéristique des années 1960: la tour du Botzet à Fribourg. L'intervention de 2016 a permis de rendre à la tour son aspect d'origine, dégradé par des rénovations des années 1980, tout en en

améliorant les performances énergétiques. Le troisième et dernier exemple est celui d'un bâtiment industriel de Saint-Aubin dans la Broye (Centre de recherche AgriCo) datant de 1970. Caractérisé par sa toiture atypique, composées d'éléments en forme de U en béton armé, sa rénovation a été un défi d'ingénierie pour améliorer l'isolation sans toucher au profil du bâtiment. Au final, grâce à une méthodologie qui priorise la vue d'ensemble et des solutions sur mesure, la performance énergétique et le confort des occupants sont sensiblement améliorés et le patrimoine est préservé.





Primula Bosshard

Villarepos, maison protégée en catégorie 2, dont les façades ont reçu un crépi isolant Haga Biotherm. Atelier d'architecture espaces & environnement



Primula Bosshard



Primula Bosshard



# Maison villageoise classée et résiliente à Villarepos

## Atelier d'architecture espaces & environnement

Jean-Luc **Rime**, architecte

Cette habitation construite en 1867, protégée en catégorie 2, a fait l'objet d'une restauration énergétique et patrimoniale exemplaire en 2019-2020 (atelier d'architecture espaces et environnement sàrl).

Les maîtres d'ouvrage ont privilégié les circuits courts, en mobilisant savoir-faire et ressources locales – à moins de 25 km pour l'essentiel – et en recourant à des matériaux naturels: laine de bois, bois fribourgeois, molasse de Villarlod, crépi à la chaux et peintures minérales suisses, entre autres. Grâce à la pose d'un crépi isolant, l'amélioration des anciennes fenêtres ainsi que l'isolation des sols et de la toiture, la performance énergétique a été nettement optimisée: la classe G est passée à C pour l'efficacité globale, et de G à D pour l'enveloppe du bâtiment. Un chauffage central hydraulique alimente désormais la maison, relié à un fourneau en molasse fonctionnant aux bûches de bois locales. En complément, des capteurs solaires thermiques produisent l'eau chaude en été et préchauffent l'eau du système de chauffage en hiver.

L'intervention architecturale a su réinterpréter les espaces pour répondre aux usages contemporains, tout en conservant une atmosphère colorée et chaleureuse, fidèle à l'esprit du lieu. Dans le grand jardin cultivé en permaculture, avec verger et petits animaux, les habitants incarnent une façon de vivre résiliente, prête à affronter les défis climatiques et énergétiques à venir.

Cette réhabilitation basse en carbone constitue un véritable modèle de développement durable, alliant réemploi du bâti existant et respect du patrimoine.



Atelier d'architecture espaces & environnement

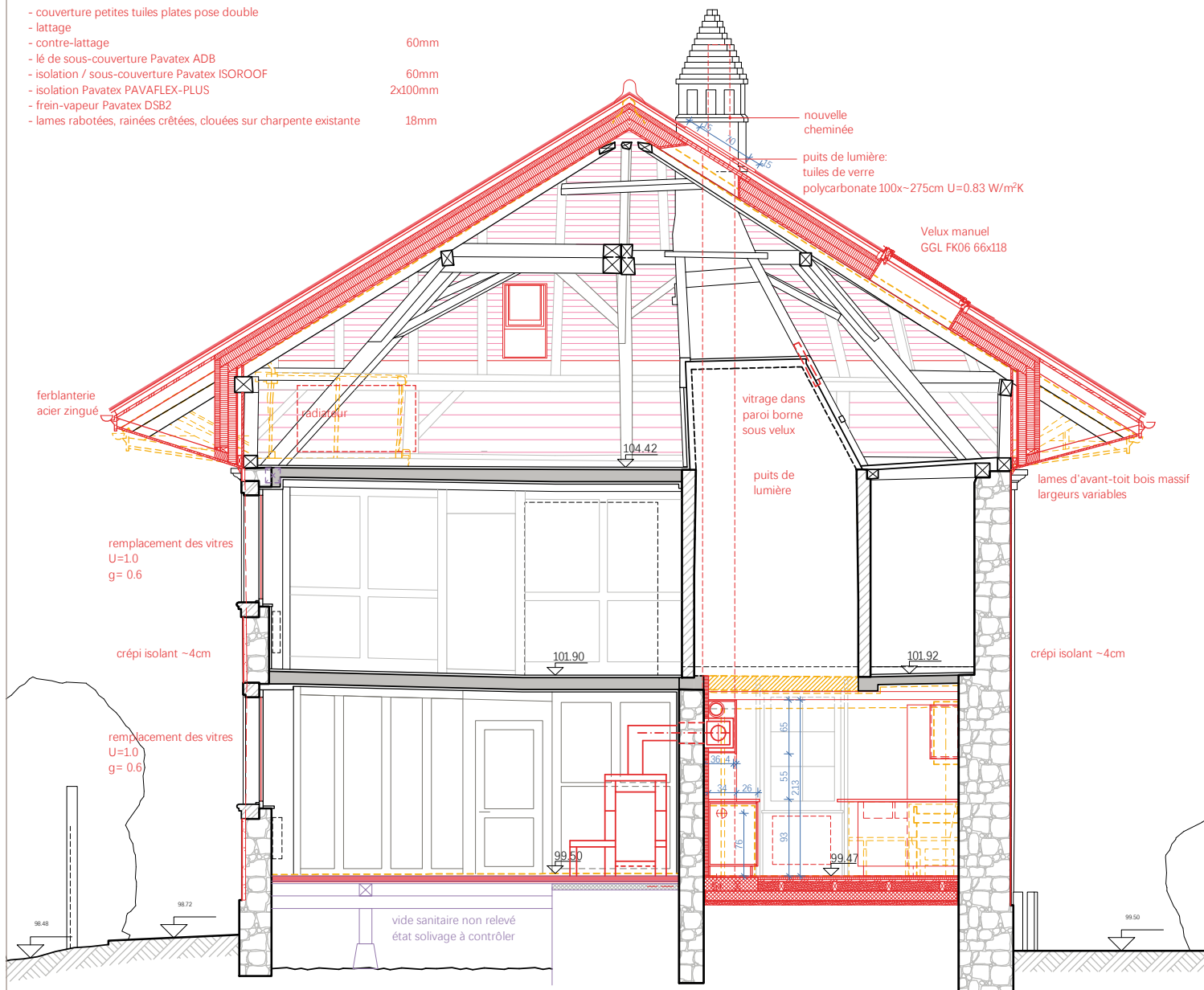


Atelier d'architecture espaces & environnement

Les anciens crépis en ciment fermés à la diffusion de vapeur et contenant des sels problématiques sont supprimés. Ils sont remplacés par un crépi projeté isolant à base de chaux.

Composition toiture: (sur chevrons existants)  $U=0.16 \text{ W/m}^2\text{K}$

- couverture petites tuiles plates pose double
- lattage
- contre-lattage 60mm
- lé de sous-couverture Pavatex ADB
- isolation / sous-couverture Pavatex ISOROOF 60mm
- isolation Pavatex PAVAFLEX-PLUS 2x100mm
- frein-vapeur Pavatex DS82
- lames rabotées, rainées crêtées, clouées sur charpente existante 18mm



## La tour locative du Botzet Dupasquier Rebetez architectes

Théo Perrelet, ingénieur

La tour locative du Botzet à Fribourg recensée en catégorie C3 a été construite en 1963. Une démarche de transformation globale du bâtiment a été initiée en 2016 par son propriétaire, le Fonds Immobilier Romand (FIR). Ces travaux s'inscrivent dans la ligne du FIR qui ne cherche pas à spéculer, mais à valoriser ses immeubles très bien situés sur le moyen ou le long terme. Les travaux énergétiques de l'enveloppe du bâtiment ont été réalisés par le bureau dupasquier rebetez architectes sàrl. Afin d'obtenir un résultat de qualité, une collaboration étroite a été réalisée entre l'architecte, le physicien du bâtiment Effiteam Sàrl, le Service des Biens Culturels et le Service de l'Energie. Le bâtiment avait subi des altérations avec notamment l'ajout d'isolation et de plaques en fibre-ciment sous les contre-cœurs, masquant les zones en crépi fin. L'architecte a donc réalisé un concept d'isolation périphérique avec différentes granulométries et teintes pour redonner au bâtiment son aspect d'origine et respecter les jeux d'ombres notamment au niveau des contre-cœurs de fenêtres. Des tablettes continues en béton préfabriqué ont été remises en place sous ces mêmes fenêtres. L'isolation des murs de balcons a été arrêtée au niveau des garde-corps pour épaissir le moins possible ces éléments saillants en béton. L'immeuble est construit avec des porteurs extérieurs et murs de refend en béton armé qui génèrent des ponts thermiques importants. Le physicien du bâtiment a réalisé les simulations des détails de construction afin d'assurer le respect de la norme SIA 180:2014 pour la protection contre l'humidité dans les logements et a affiné le concept d'isolation périphérique avec des épaisseurs comprises entre 8 et 12 cm de laine de roche selon les emplacements. Les nouvelles fenêtres sont munies de triples vitrages isolants. Avec cette optimisation complète de l'enveloppe et une ventilation double-flux partielle, il a donc été possible de faire passer le bâtiment de la catégorie d'enveloppe G avant travaux à l'étiquette énergétique B pour l'enveloppe, équivalent à celle des bâtiments neufs.



Effiteam



Effiteam

La tour a été isolée par l'extérieur dans le respect des modénatures d'origine. Elle a également retrouvé ses couleurs grises d'époque.





## Bâtiment administratif et de réception n° 1701 Page Architectes

Théo Perrelet, ingénieur

Le centre de recherche AgriCo à Saint-Aubin (FR) a été construit entre 1967 et 1970 pour une entreprise privée et appartient maintenant à l'Etablissement cantonal de promotion foncière (ECPF). Le bâtiment administratif n°1701 est le premier objet du site à avoir été rénové intégralement. Il est protégé en catégorie A2 et constitue un témoin important du patrimoine industriel Fribourgeois. Sa rénovation a constitué un exercice d'équilibriste, car il s'agissait à la fois de respecter la substance patrimoniale importante selon son degré de protection, d'atteindre les exigences d'exemplarité énergétique applicables aux bâtiments publics et de régler en même temps les nombreux ponts de froid importants liés à la structure porteuse préfabriquée composée d'éléments de toiture en forme de U en béton armé. Le projet de transformation complète du bâtiment a été mené par le bureau d'architecture PAGE ARCHITECTES SA en collaboration avec le Service des Biens Culturels et le Service de l'Énergie. Effiteam Sàrl a participé à l'élaboration des détails avec l'architecte et réalisé les prestations de physique du bâtiment pour qu'il soit conforme après rénovation à la norme SIA 180:2014 pour la protection contre l'humidité. Le bâtiment étant disposé sur un seul niveau, il comporte donc de grandes surfaces de sol contre un vide sanitaire non chauffé et de toiture à isoler en priorité avec les épaisseurs maximales possibles. La finesse des extrémités des éléments de toiture préfabriqués en U a pu être conservée, car l'enveloppe du bâtiment s'arrête au niveau des sommiers. Les façades en bois ont pu être isolées, tout en respectant la trame et la teinte existante, et des fenêtres neuves avec triples vitrages isolants ont été posées. Une ventilation double-flux a été installée dans tout le bâtiment. Toutes ces interventions soigneusement planifiées permettent au bâtiment rénové de respecter les exigeantes valeurs cibles ponctuelles pour tous les éléments d'enveloppe, tout en ayant conservé sa substance patrimoniale.



Effiteam



Effiteam

Le bâtiment avant travaux.





Les rénovations entreprises sur ce bâtiment sont invisibles au premier regard. Et pourtant les exigences d'exemplarité énergétique applicables aux bâtiments publics sont respectées.

# Enjeux du point de vue de l'énergie

Étienne **Courtois**, chef de service adjoint, Service de l'énergie de l'État de Fribourg

Le Service de l'énergie est un acteur majeur de la rénovation énergétique des bâtiments. Il répond à des législations fédérales, cantonales et intercantionales, qui doivent constituer une opportunité de rénover plutôt que de détruire le bâti existant.

## Une évolution incontrôlée lors de l'industrialisation

Depuis l'après-guerre, la consommation d'énergie en Suisse a été multipliée par huit environ. Elle est couverte aujourd'hui essentiellement par des agents non-renouvelables tels que le pétrole, le gaz et le combustible nucléaire. Le secteur du bâtiment est significatif car il absorbe 40% de la consommation et représente le quart des émissions de CO<sub>2</sub>. Notre confort s'est amélioré, mais cela s'est accompagné d'effets négatifs, notamment sur le climat et sur la dépendance accrue de notre pays. Pour inverser cette tendance, une politique énergétique et climatique a été mise en place dès les années 1990, puis s'est progressivement renforcée. La consommation d'énergie s'est stabilisée dans les années 2000 et diminuée sensiblement depuis 2010.

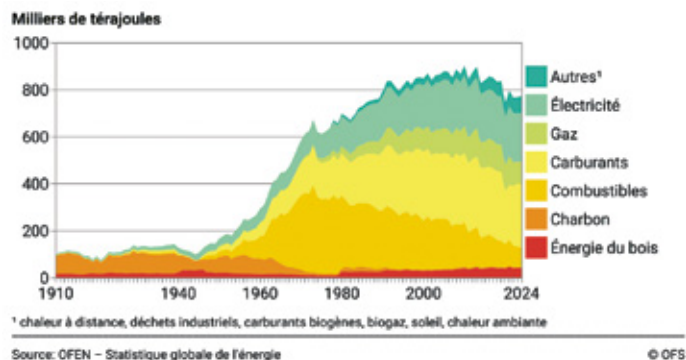
## Des objectifs clairs et ambitieux

La vision et les objectifs sont maintenant établis: la Suisse doit mettre en œuvre la stratégie énergétique 2050 et atteindre la neutralité climatique dès 2050, les bâtiments ne doivent plus du tout utiliser d'énergies fossiles et la consommation d'énergie doit encore être réduite. Les bases légales pertinentes en Suisse sont la loi fédérale sur l'énergie, les lois cantonales sur l'énergie ainsi que la loi fédérale sur le CO<sub>2</sub> et la loi fédérale sur le climat et l'innovation.

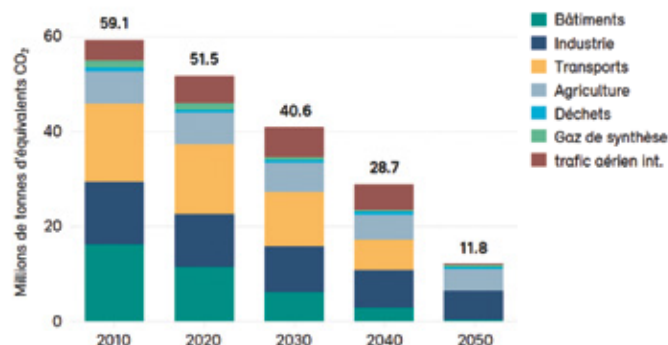
## Les cantons ont une responsabilité particulière

D'après la Constitution fédérale, la Confédération et les cantons s'entraident dans l'accomplissement de leurs tâches et collaborent entre eux. La Constitution fédérale précise en particulier que les mesures concernant la

## Consommation finale d'énergie selon les agents énergétiques



## Stratégie climatique à long terme, émissions résiduelles



consommation d'énergie dans les bâtiments sont au premier chef du ressort des cantons. Ces derniers édictent des dispositions sur l'utilisation économe et efficace de l'énergie tout en veillant à la coordination et l'harmonisation entre eux. Le Modèle de Prescriptions Énergétiques des Cantons (MoPEC), en tant que référence à l'échelle nationale, adoptée par la Conférence des directeurs cantonaux de l'énergie (EnDK), soutient une mise en œuvre coordonnée de la politique énergétique dans le droit de l'énergie cantonal, tout en tenant compte des spécificités cantonales. Le MoPEC n'est cependant qu'un modèle. Son contenu, éventuellement adapté, ne prend force de loi qu'après adoption par chaque canton séparément.

### Où en est la mise en œuvre?

Après plus de 10 ans, le contenu du MoPEC

établi en 2014 est en vigueur dans presque tous les cantons, avec parfois des différences de formulation et d'exigences détaillées. Par exemple, Fribourg a prescrit un minimum de 20% d'énergies renouvelables lors du renouvellement du producteur de chaleur dans les bâtiments d'habitation, alors que d'autres cantons ont prescrit 10%, 15%, 40% ou 100%, et pas seulement dans les bâtiments d'habitation. Les statistiques fribourgeoises récoltées depuis 2020 montrent cependant que, dans la pratique, les 99% des renouvellements sont réalisés par du renouvelable.

Pour aller un pas plus loin en direction du «zéro net», l'EnDK a adopté en 2025 une révision du modèle que les cantons devront transposer dans leurs bases légales dès que possible mais au plus tard en 2030.

### Les points forts du MoPEC 2025

À l'avenir, les bâtiments devront également produire de l'électricité et de la chaleur, stocker si possible de l'énergie et servir de stations de recharge pour les véhicules électriques. Ils deviendront des hubs énergétiques et contribueront ainsi à la mise en œuvre de la Stratégie énergétique 2050 adoptée par le peuple en 2017.

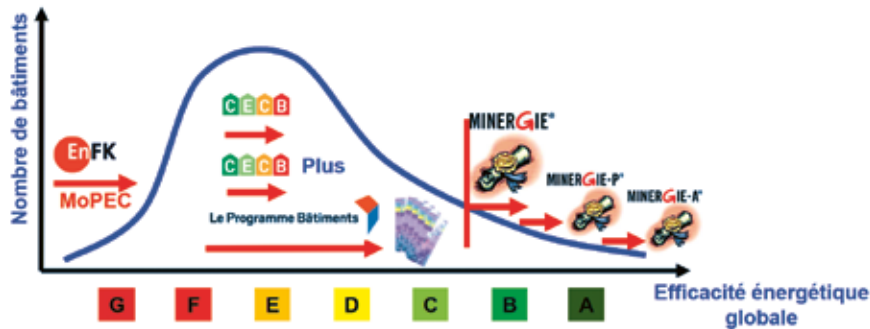
Concrètement, l'isolation thermique et la qualité de l'enveloppe restent les fondements qui permettent à cette vision de se concrétiser, aussi bien dans les bâtiments neufs que dans la rénovation.

La production de chaleur sans combustibles fossiles devient la norme dans les bâtiments neufs mais également dans les bâtiments existants, au plus tard lors du renouvellement du chauffage.

Le chauffage des locaux et de l'eau sani-

1. Nouvelle agence de la Banque Raiffeisen Région de Delémont, dans un immeuble emblématique de la capitale, situé dans le quartier de la gare. Le projet a reçu les labels SNBS-Bâtiment Or et Minergie.

2. Villa à Conthey dont la toiture est entièrement recouverte de tuiles solaires freesuns Solaris™ Heritage.



taire, nouveau et/ou assaini, ne doit plus se faire à l'aide de résistances électriques.

Les besoins électriques de base doivent être tout ou partie couverts par une production propre (en général solaire), autant pour les bâtiments neufs qu'en cas de rénovation de toitures.

L'énergie grise pour la construction et la démolition des bâtiments doit être évaluée et limitée.

### L'exemplarité avec la famille des labels suisses

Le MoPEC n'est pas un label, mais il représente le dénominateur commun que les cantons se sont engagés à mettre en œuvre. À l'opposé, le label MINERGIE, avec ses différentes déclinaisons, encourage les pionniers et rend l'innovation plus accessible au marché, tout en mettant aussi en valeur le

confort et l'efficacité de l'exploitation. Plus de 1000 bâtiments ont été certifiés à ce jour dans le canton de Fribourg.

De manière plus transversale, le CECB (Certificat Énergétique Cantonal des Bâtiments) évalue la qualité de l'enveloppe et le bilan énergétique global d'un bâtiment, ainsi que ses émissions directes de CO<sub>2</sub>, ceci quel que soit l'état du bâtiment. Il répond à l'exigence de la loi fédérale sur l'énergie qui demande que les bâtiments puissent être comparés de manière uniforme. Le CECB Plus est un rapport de conseil établi en vue d'une rénovation énergétique. Il est notamment requis pour bénéficier des subventions portant sur l'enveloppe des bâtiments. Plus de 23'000 CECB et 2200 CECB Plus ont été publiés à ce jour dans le canton de Fribourg.

Le SNBS Bâtiment est un concept général de construction durable en Suisse qui

comprend le bâtiment lui-même et le site dans le contexte de son environnement. Il exige une vision d'ensemble du cycle de vie d'un bien immobilier.

Les normes techniques jouent également un grand rôle dans le domaine de la construction, en particulier celles de la SIA définissant «l'état de la technique» dans l'application du droit en vigueur.

### Le défi des mesures d'incitations

Les propriétaires de biens immobiliers peuvent bénéficier de subventions pour rénover leurs bâtiments et les équiper d'énergies renouvelables. Ces aides remportent un grand succès grâce aux financements des cantons et de la Confédération. Toutefois, la Confédération prévoit des coupes budgétaires dans ce domaine dès 2027 et des modifications importantes sont à prévoir.





1

pascal burri soylhieres



2

Freesuns

Les dégrèvements fiscaux représentent actuellement aussi un autre levier important. En conséquence de la votation populaire de septembre 2025 qui supprime la valeur locative, les coûts des travaux dans les bâtiments habités par leurs propriétaires ne pourront plus être déduits du revenu imposable, au niveau fédéral probablement dès 2028.

Sans mesures futures pour y palier, soit incitatives, soit contraignantes, ces deux changements entraîneront des conséquences sur la mise en œuvre de la Stratégie énergétique.

### Concilier performance énergétique et préservation patrimoniale

Les bâtiments et sites protégés sont également concernés par les objectifs de réduction de la consommation énergétique et des

émissions de CO<sub>2</sub>. Si les exigences énergétiques et patrimoniales peuvent paraître parfois contradictoires, l'intérêt public des deux domaines est d'importance équivalente.

La compatibilité entre ces deux objectifs repose sur une approche intégrée, élaborée en concertation avec le service de l'énergie, le service des biens culturels et les propriétaires.

L'amélioration énergétique des bâtiments protégés ne doit pas être envisagée comme une contrainte, mais comme une opportunité de prolonger leur usage. Une vision globale du bâtiment, associée à des solutions techniques ciblées, permet de concilier exigence énergétique et sauvegarde du patrimoine.

# Patrimoine et énergie – Un mariage de raison

Stanislas **Rück**, chef de service du Service des biens culturels de l'Etat de Fribourg

Le Service des biens culturels de l'Etat de Fribourg est un autre acteur majeur de la rénovation des bâtiments anciens. Lui aussi répond à une législation et émet des recommandations pour concilier patrimoine et performance énergétique.

Sans que cela apparaisse de prime abord, les questions d'énergie ont façonné notre patrimoine. La provenance et la nature des ressources énergétiques et leur degré de disponibilité ont de tous temps influencé de manière directe notre mode de vie et, par conséquent, les méthodes de construction et la typologie du bâti. La révolution industrielle et le charbon ont renversé une situation jusque-là largement dictée par les ressources locales et l'économie de moyens. En moins de cent ans, nous sommes passés à un régime d'omniprésence et de surabondance de l'énergie, qui s'exprime dans nos villes et agglomérations par un étalement urbain et des bâtiments de plus en plus vastes et perméables. Cette période d'euphorie devait cependant être de courte durée. Les chocs pétroliers, les crises environnementales et climatiques et, plus récemment, les crises

politiques nous rappellent notre fragilité et la nécessité de retrouver un mode de vie durable dans un environnement bâti adéquat.

## Concilier et adapter

Dans ce grand mouvement sociétal et technologique lié à l'énergie, le patrimoine est une fois de plus exposé à deux contraintes à priori contradictoires: la conservation et le besoin d'adaptation. Qu'il s'agisse d'une église gothique, d'une maison patricienne ou d'un site industriel brutaliste, les sites et bâtiments protégés sont retenus pour leur valeur propre et leur capacité de témoignage. Ils nous racontent une histoire, la nôtre, et ne peuvent le faire qu'à condition que leurs caractéristiques soient préservées et restent lisibles. Néanmoins, ils doivent pouvoir s'adapter à un nouvel usage par une réinterprétation de l'ancien. La fron-



Stanislas Rück

Dans une maison de Neggio (Tessin), patrimoine et besoins énergétiques cohabitent parfaitement: à l'intérieur du premier grand foyer, qui servait aussi bien au chauffage qu'à la cuisine, s'insère un second foyer d'agrément et de chauffage, qui, lui-même, intègre désormais un insert moderne qui optimise le confort. Les trois états sont conservés et se côtoient sans problème.

tière entre restauration et transformation demeure ténue, il suffit de peu pour perdre la valeur patrimoniale; mais quand l'intervention réussit, elle ajoute une nouvelle strate, qui, tout en préservant la qualité originelle, témoigne d'une adaptation bien aboutie. Le patrimoine devient ainsi témoin de son temps et du temps qu'il traverse.

### Une pesée d'intérêts

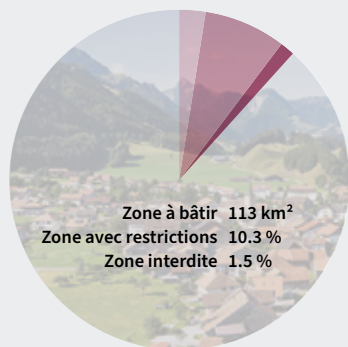
La restauration énergétique du patrimoine est un défi parmi d'autres à relever par le patrimoine, et il ne sera sans doute pas le dernier. De manière générale, les contraintes normatives ont connu une forte augmentation ces dernières années, d'ordinaire pour de bonnes raisons, parfois au gré de programmes politiques voire par intérêt économique caché. La confrontation des exigences maximales et absolues sans une pesée d'intérêts efficace

conduit plus souvent que par le passé à des situations de blocage ou à des solutions trop complexes ou trop chères, hors toute proportionnalité avec l'objectif initial visé. Il faut toujours se rappeler qu'en termes quantitatifs, les bâtiments protégés ne représentent que 4,8% des 180'000 bâtiments assurés dans le canton de Fribourg. En surface ou volume, qui sont les valeurs de référence pour déterminer le bilan énergétique, la proportion des bâtiments protégés diminue encore d'un facteur multiple, étant globalement plus petits et moins volumineux que la grande masse du bâti contemporain d'après-guerre. En aucun cas cela ne dispense le patrimoine bâti des mesures d'améliorations nécessaires à la transition énergétique, mais cela relativise tout de même le poids qui doit être donné aux valeurs normatives absolues dans cette pesée d'intérêts.

### Patrimoine et durabilité

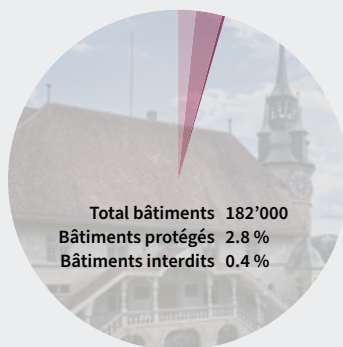
La contribution du patrimoine bâti protégé au développement durable et à la protection de notre climat en termes d'énergie provient pour l'essentiel de trois sources: de son bilan imbattable en matière d'énergie grise, des améliorations possibles de son bilan thermique, mais aussi de l'exploitation, certes plus limitée, du potentiel de production d'énergies renouvelables.

L'énergie grise est l'énergie investie pour la production, la mise en place et l'entretien d'un bien durant son cycle de vie. La conservation de ce bien préserve ce capital d'énergie et le fait fructifier en permanence par sa valeur d'usage sans cesse renouvelée. Dans ce sens, conserver constitue en soi un apport passif considérable au bilan énergétique de nos sociétés. La part de l'énergie grise se situe entre 60 et 75% du bilan énergétique



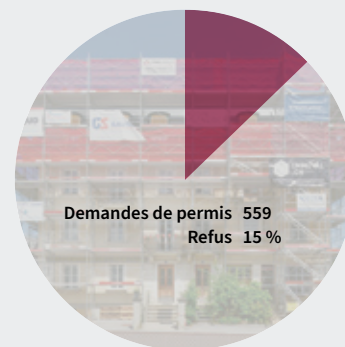
#### Sites protégés

Sur un total d'environ **113 km<sup>2</sup>** de zone à bâtir, **13.4 %** sont en zone protégée et uniquement **10.3 %** en zone protégée d'importance nationale et cantonale. Proportionnellement aux dossiers traités en 2023, les installations solaires constitueraient une atteinte majeure et ne pourraient pas être autorisées dans **1.5 %** des zones à bâtir.



#### Bâtiments protégés

Sur un total d'environ **182'000 bâtiments** existants, **4.8 %** sont protégés et seuls **2.8 %** sont d'importance nationale ou cantonale. Proportionnellement aux dossiers traités en 2023, les installations solaires constitueraient une atteinte majeure et ne pourraient pas être autorisées sur **0.4 %** des bâtiments existants.



#### Permis de construire 2023

Sur un total de **559 demandes** traitées en 2023 concernant des installations solaires dans des sites ou sur des bâtiments protégés, **85 %** ont été préavisées favorablement avec des conditions d'intégration et **15 %** ont été refusées en raison d'une atteinte majeure ou de mesures d'intégration insuffisantes. En d'autres termes : 5 demandes d'installation sur 6 sont approuvées.

global. Démolir, jeter sans récupération ou détruire par des faits de guerre ou des catastrophes naturelles non seulement annihile cet immense capital, mais génère au contraire un nouvel investissement massif d'énergie grise pour remplacer le bien perdu. Cet énergie grise qui sommeille de manière cachée aussi dans nos bâtiments protégés est trop souvent oubliée. Elle ne figure pas, en l'état, dans les normes applicables et les certificats d'énergie à produire, ce qui désavantage injustement le patrimoine. De toute évidence, ce capital d'énergie grise compense largement les performances parfois moindres en termes de bilan thermique ou de production d'énergies renouvelables qui peuvent résulter des contraintes de conservation.

L'amélioration du bilan énergétique des bâtiments protégés devrait toujours être soumise à une approche globale. Sur la base

d'une telle analyse, les interventions peuvent ensuite se faire en une fois ou par étape de manière coordonnée et cohérente, en fonction des contraintes d'exploitation du bâtiment. Hormis cette première approche globale, il n'existe pas de recette simple. Chaque bâtiment, chaque situation est différente et nécessite des solutions spécifiques. La palette des produits et possibilités techniques évolue en permanence. Dans le bâti historique massif, on interviendra prioritairement sur les toitures, fenêtres et sols. Dans les constructions en bois, on travaillera dans les interstices ou en applique à l'intérieur ou à l'extérieur, selon les qualités patrimoniales à préserver. Dans le bâti contemporain plus technique et composite, on passera par une recomposition améliorée des éléments qui ont le plus grand potentiel et le moindre impact sur la substance et le caractère. En règle générale,

c'est la combinaison de plusieurs mesures qui produit un résultat optimal et permet de maintenir un équilibre entre les intérêts de conservation et les exigences énergétiques, même si le résultat ne remplit pas forcément les valeurs normatives absolues.

La production d'énergies renouvelables par des installations photovoltaïques est aujourd'hui une priorité et cela se reporte également sur les bâtiments et les sites protégés. Le Service des biens culturels a créé un poste dédié et a mis en place une pratique harmonisée pour assurer un traitement cohérent à travers le canton. La loi fédérale priorise les intérêts de la production d'énergie, sauf pour les sites et bâtiments d'importance cantonale et nationale, auxquels ces installations ne doivent pas porter d'atteinte majeure. L'atteinte majeure est un critère difficile à cerner. Dans les faits, seuls 10% des zones à bâtir

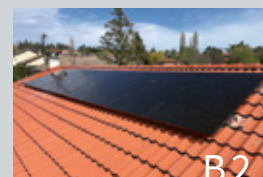


## Les dix niveaux d'intégration du photovoltaïque

### Mesures d'intégration minimales



Géométrie d'un seul tenant sous forme de pan entier ou de rectangle sans décrochements



Teinte unie cadres et panneaux (full black)

### Mesures d'intégration moyennes



Dimensionnement des surfaces en fonction du potentiel d'intégration



Disposition prioritairement sur parties non-protégées, peu ou pas visibles du domaine public



Position alignée au faîte ou au larmier en fonction du moindre impact par rapport aux angles de vue



Intégration des surfaces résiduelles ou éléments traversants par des panneaux de compensation



Un seul type de panneaux par pan



Disposition harmonisée avec bâtiments attenants en cas d'ordre contigu

### Mesures d'intégration maximales



Couleur adaptée à la couleur du matériau de couverture dominant et caractéristique



Adaptation au format du matériau de couverture dominant et caractéristique

et 2,8% des bâtiments du canton de Fribourg correspondent au critère d'importance cantonale ou nationale. Même dans ces circonstances, dans la majorité des cas, le Service des biens culturels admet les installations solaires avec des conditions d'intégration qui découlent de l'importance du site et du bâtiment, touchant l'orientation, la géométrie, le format ou la couleur des panneaux. Les refus d'installations se limitent aujourd'hui aux quelques bourgs et ensembles historiques de haute valeur patrimoniale et aux bâtiments emblématiques. En l'absence d'une analyse et d'une stratégie plus fines, à l'image de ce qui a été réalisé pour les villes de la Chaux-de-Fonds et du Locle, il paraît aujourd'hui hasardeux d'ouvrir ces sites et bâtiments au gré des projets individuels sans compromettre l'intérêt public prépondérant de la conservation de ces ensembles.

## XII<sup>e</sup> ou XX<sup>e</sup> siècle: une même approche

Cyrrill **Haymoz**, architecte (0815 Architectes), Antonio **Tornay**, architecte (Aebi & Vincent Architectes) et Service des biens culturels de l'Etat de Fribourg

Entre législations et recommandations, le Service des biens culturels de l'Etat de Fribourg nous propose deux exemples de rénovation réussis: l'un est une maison médiévale de la Basse-Ville et l'autre une tour du centre-ville datant des années 1960.

Allier améliorations énergétiques et respect du patrimoine est un principe aujourd'hui incontournable. Deux exemples de restauration illustrent la démarche à appliquer quelle que soit l'époque de construction du bâtiment.

Dans le cas d'un édifice bâti il y a plus de 150 ans avec des matériaux et savoir-faire traditionnels, comme celui de la Samari-taine 40 à Fribourg, l'analyse de la physique du bâtiment est cruciale pour la conception d'un assainissement énergétique. Le but étant non seulement de préserver le caractère architectural du bâtiment qualifié d'historique, mais également d'éviter tout risque d'altération future de sa substance par une mise en œuvre inadéquate. Dans ce sens, le choix de matériaux spécifiques adaptés à la substance d'origine est primordial. Il convient aussi de rappeler que de tels bâti-

ments anciens ne présentent pas que des déficits mais offrent des qualités en termes d'inertie ou de climat ambiant qu'il s'agit de reconnaître pour en tirer le meilleur parti.

La Tour de la Bâloise (Place de la gare 5 à Fribourg) datant des années 1960 renvoie à une époque où la notion d'efficience énergétique n'était tout simplement pas un thème. Pour sa rénovation, la très grande qualité architecturale de cet ouvrage devait être prise en compte et un soin particulier porté aux moindres détails constructifs. Si tel n'avait pas été le cas, ses qualités originales auraient été perdues à jamais et son aspect architectural ruiné.



La maison de la rue de la Samaritaine 40 (à droite du passage du Rababou) à Fribourg dans les années 1950 (à gauche) et aujourd'hui, après travaux (à droite).

Service des biens culturels, fonds Monument d'art et d'histoire | Jacques Thévoz



0815 Architectes

## Maison de la rue de la Samaritaine 40 à Fribourg

### Travaux d'assainissement 2019, 0815 Architectes à Fribourg

Le bâtiment formant l'angle de la rue de la Samaritaine 40 est protégé en catégorie 1. Mentionné comme l'ancienne Auberge de Guillaume Tell, sa construction est attestée en 1157 déjà; il compte donc parmi les plus anciens de la ville de Fribourg! Dans le site hautement sensible de la vieille ville médiévale, sa cure de jouvence méritait une attention toute particulière et la mise en œuvre de procédés techniques pointus pouvant améliorer son efficacité énergétique. Focus sur la rénovation des façades.

Le mur de la bâtisse en moellons de grès, d'une épaisseur de 40 à 80 cm, présentait dans son état d'origine une masse à haute capacité de stockage et de bonnes pro-

priétés isolantes. Dans le cadre de la rénovation, il a donc été décidé de renoncer à l'utilisation d'un enduit super isolant et à viser des valeurs d'isolation maximales. L'accent a été mis sur un système respirant et durable qui soutient et complète les avantages physiques existants du bâtiment.

Le choix s'est porté sur un enduit à la chaux enrichi en pierre ponce, perméable à la vapeur. Le produit utilisé, HAGA Biotherm, a été appliqué en plusieurs couches d'une épaisseur totale d'environ 3 à 4 cm. Afin de préserver la qualité biologique et la fonction capillaire du mur d'origine, aucun additif à base de plastique tel que le polystyrène ou l'acryl, ni aucun treillis d'armature synthétique n'ont été utilisés. La composition de l'enduit est donc purement minérale.

L'objectif de la rénovation n'était pas seulement de réduire la valeur U (coef-

ficient de transmission thermique), mais surtout d'augmenter la valeur G, c'est-à-dire la capacité de stockage thermique de l'ensemble de l'enveloppe du bâtiment. La combinaison d'une structure massive et de matériaux naturels à forte capacité d'accumulation a permis d'obtenir un climat intérieur équilibré et confortable tout en réduisant les besoins énergétiques, tant en hiver qu'en été. L'amélioration thermique réelle du bâtiment a été obtenue principalement grâce au remplacement des fenêtres et à l'optimisation de l'isolation du toit avec des panneaux en fibres de bois.

Cet exemple démontre que les rénovations énergétiques ciblées, y compris des façades, si elles ne permettent pas forcément de répondre aux normes, améliorent de manière significative les propriétés thermiques d'un bâtiment historique.

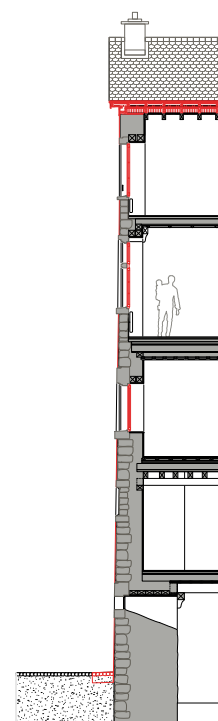


1. Mélange des couleurs du badigeon à la chaux réalisé par Gérard Schneuwly.

2. Coupe et relevé pierre à pierre de la façade du bâtiment de la Samaritaine 40 à Fribourg. Ce dernier fait état des différentes époques d'intervention sur le mur.



0815 Architectes



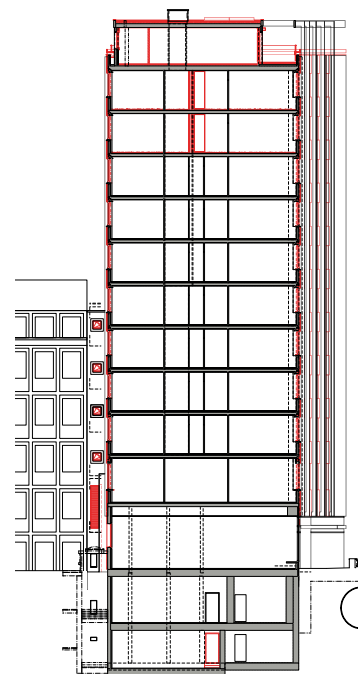
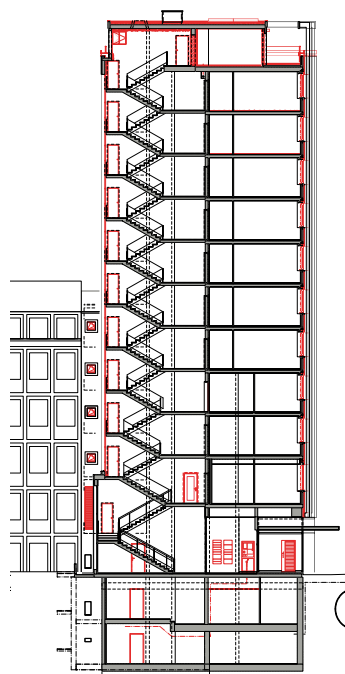
COUPE A-A 1:50

2





Aebi & Vincent Architectes



## La tour de la Bâloise, place de la Gare 5 à Fribourg Travaux d'assainissement 2017-2019, Aebi & Vincent Architectes à Berne

La tour de la Bâloise a été construite en 1967 par l'architecte Marcel Colliard suite à l'incendie de deux bâtiments. Elle se positionne comme bâtiment de tête et élément structurant de la place de la Gare. L'effet est souligné par la concavité de la façade principale. Au rez-de chaussée entièrement vitré avec un vide d'étage supérieur se trouvent les locaux commerciaux, du 1<sup>er</sup> au 7<sup>e</sup> étage des bureaux, du 8<sup>e</sup> au 10<sup>e</sup> des appartements de 5 pièces et à l'attique un appartement de 4 pièces avec une grande terrasse. L'immeuble possède un hall d'entrée très généreux et une spacieuse cage d'escaliers côté cour avec éclairage naturel sur toute sa hauteur et revêtements de sol en pierre artifi-

cielle noire marbrée d'une grande élégance. Cet immeuble très représentatif de son époque, possède une façade-rideau en aluminium et un placage en pierre naturelle qui fait référence aux immeubles de bureaux que l'on érigeait à cette époque dans la capitale rhénane.

La rénovation (2017-2019) restitue à la tour de la Bâloise toute sa splendeur d'origine. Avec le remplacement des fenêtres, des stores, l'isolation des contre-cœurs, l'isolation de la toiture et la restauration de la façade en pierre, cet assainissement énergétique respecte l'identité, les proportions, et le caractère historique du bâtiment. La réutilisation de plusieurs éléments d'époque en bois et en aluminium, des détails constructifs précis vérifiés par des prototypes sur place, ont permis de développer un concept de rénovation d'une grande qualité, très effi-

cace au niveau du temps de chantier en site occupé et surtout de réaliser des économies considérables pour le maître de l'ouvrage.

# Rencontre avec les Architectes pour le climat

.....  
Anne-Catherine **Gillis**, Pro Fribourg

Une association fribourgeoise lutte pour un bâti plus respectueux de l'environnement, du paysage et de ses habitants: Architectes pour le climat - Architekt\*innen für das Klima. La rénovation est au cœur de leurs réflexions.

L'association Architectes pour le climat a été créée en 2021, sur l'impulsion de Stéphane Emery, en réponse à l'urgence d'agir en matière d'aménagement face aux effets dévastateurs du dérèglement climatique. Elle vise à repenser le bâti dans ses aspects environnementaux, énergétiques, économiques, sociaux et culturels: comment en faire un meilleur usage, réduire son empreinte écologique, appliquer les principes de l'économie circulaire et lui conférer les capacités de résilience nécessaires face au dérèglement climatique? Vaste programme porté par une poignée de personnes engagées, comme Stéphane Emery (architecte – bureau Aeby Aumann Emery Architectes, enseignant à la HEIA-FR et co-président de l'association) et Maxime Aubry (architecte – APOLLO architecture et membre du comité), qui nous ont accordé un entretien.

## Comment est née l'association Architectes pour le climat?

En 2021, en pleine pandémie de Covid-19, le besoin d'agir pour le climat est devenu évident. Les associations professionnelles s'impliquent également dans les questions climatiques, mais lors des assemblées, les aspects factuels (administratifs, prestations, normatifs, etc.) prennent généralement le pas en raison de la pression constante que subit le domaine de l'architecture. L'association Architectes pour le climat a pour objectif d'offrir un espace à ces questions et d'être un «passeur de savoirs».

**Lorsqu'on parle de l'impact climatique du bâti, on pense avant tout à la performance énergétique des bâtiments. Mais en réalité, la question va bien plus loin.**

En effet, assainir le bâti, notamment pour le



Vue sur l'organisation intérieure  
à plusieurs demi-niveaux dans  
l'ancienne usine Tobler à Berne.  
BHSF Architektur

rendre plus performant, c'est bien, mais ces rénovations prennent rarement en compte l'énergie grise qu'elles impliquent, c'est-à-dire le coût énergétique et environnemental de l'extraction, la transformation, la fabrication, le transport des matériaux et leur impact sur le bâtiment, ainsi que leur élimination.

Par exemple, poser une isolation périphérique synthétique est simple à mettre en œuvre et relativement bon marché compte tenu de l'économie énergétique qu'elle va permettre. Dérivés du pétrole, ils présentent toutefois un très mauvais bilan carbone au niveau de leur cycle de vie complet (de l'extraction à l'élimination), avec une durée de vie relativement courte (20 ans). Souvent collés et recouverts d'enduits synthétiques, ils sont difficilement recyclables et peuvent contenir des produits antifongiques qui polluent les eaux.

### Comment diminuer les dépenses d'énergie grise?

Il s'agit avant tout d'adopter une démarche raisonnée. Par exemple, démolir un ancien bâtiment pour y construire un nouveau bâtiment énergétiquement efficient est absurde lorsqu'on sait que la structure d'une construction représente plus du tiers de l'énergie grise contenue dans le bâtiment. De plus, une construction mobilise des matières premières à extraire et à transformer et qui, pour certaines, sont issues du pétrole. Cela se répercute directement au niveau des déchets: en Suisse, environ 80% des déchets proviennent de la construction (dont 2/3 concernent les terres d'excavation). Les méthodes de rénovation ou construction les plus répandues, car bon marché, ne vont pas améliorer les choses, comme lorsqu'il s'agira de rénover les façades recouvertes

d'isolants extérieurs en polystyrène appliqués par collage. Le problème, c'est que les propriétaires ne sont pas informés sur ces conséquences. Des normes favorisant l'impact climatique des matériaux permettraient par exemple de favoriser l'utilisation de matériaux vertueux.

### Il existe donc une alternative aux matériaux de construction synthétiques?

Bien sûr, il s'agit de tous les matériaux biosourcés (issus de végétaux) ou géosourcés (d'origine minérale, comme la terre crue). Le plus connu est évidemment le bois, mais la paille ou le chanvre sont d'autres alternatives encore plus intéressantes en raison de leur disponibilité. Ces matériaux sont certes plus chers, mais ils assurent une meilleure longévité de la construction, notamment par leurs propriétés de régulation de l'humidité.



Un exemple parmi d'autres de l'enlaidissement de notre environnement urbain suite à la pose d'une isolation extérieure synthétique. Ici sur Pérolles en ville de Fribourg.

Malheureusement, peut-être en raison du manque de soutien politique et normatif, ces matériaux suscitent des réticences. Pourtant, construire en béton et en dérivés du pétrole peut être comparé à la mal-bouffe: comme il n'est pas sain de se nourrir de fast food, il faudrait «varier l'alimentation» de notre environnement bâti en développant la variété des matériaux.

### Un autre élément du combat des Architectes pour le climat est l'économie circulaire.

En effet, l'un des grands maux de la démarche destruction-reconstruction est le gaspillage de matière. Au contraire, récupérer puis réemployer ce qui peut l'être est une démarche vertueuse. En Suisse, quelques cantons promeuvent cette démarche, mais bien souvent pour des raisons purement

pratiques: les petits cantons urbains de Bâle-Ville et de Genève ont mis en place des outils pour favoriser la récupération des matériaux pour des questions de place. À Fribourg, l'association de La Ressourcerie s'investit dans ce domaine, mais cela reste pour le moment une initiative encore trop marginale.

En outre, en Suisse, le goût pour le neuf est fortement ancré dans les mentalités. La question des fenêtres en est symptomatique: les propriétaires sont encouragés à les changer pour du triple vitrage, souvent avec des cadres en PVC pour des raisons de coûts, sous prétexte que les vieilles fenêtres engendrent une grande déperdition d'énergie. Pourtant, de nombreuses solutions de rénovation existent, sans compter que l'énergie grise du triple vitrage est très importante et que les cadres PVC sont une

perte esthétique et patrimoniale qui nuisent à la richesse de notre environnement bâti. Il en va de même des isolants extérieurs.

Les normes nous poussent à la performance, alors qu'un autre concept devrait parfois être prioritaire: la robustesse du bâti<sup>1</sup>.

### Vous prônez donc la rénovation et la réaffectation de l'existant.

Transformer l'existant est souvent perçu comme une démarche trop contraignante, voire peu créative pour les architectes, alors que c'est tout le contraire. Repenser un bâtiment peut donner naissance à des projets extraordinaires, comme dans le cas du Weinlager à Bâle (Esch Sintzel Architekten). Cet ancien entrepôt de vin a été transformé en logements atypiques très qualitatifs. Un autre exemple significatif est la transforma-





Paola Corsini

L'association Architectes pour le climat – Architekt\*innen für das Klima organise des conférences, des visites et participe au débat public sur l'impact climatique du bâti. Rendez-vous sur leur site internet pour les soutenir et suivre leurs activités.  
[www.archiclimat.ch](http://www.archiclimat.ch)

**La transformation du Weinlager à Bâle a donné lieu à des appartements exceptionnels, caractérisés par une grande hauteur sous plafond et articulés autour de piliers de béton en forme de champignon.**  
 Esch Sintzel Architekten

tion de l'ancienne usine Tobler, à Berne, en bâtiment de logements. Le projet de BHSF Architektur maintient une grande partie de la structure de l'usine et tire parti de ses spatialités existantes pour offrir des espaces uniques aux habitants.

Ce que l'on oublie, c'est que, jusque dans les années 1950-1960, l'architecture répondait à une meilleure gestion des ressources et des espaces. Aujourd'hui, la société a tendance à tout surdimensionner. Dans ce sens, les améliorations d'efficacité énergétique peuvent provoquer un effet rebond: comme on consomme moins, on se permet de construire plus grand et de mettre en place davantage de confort. Améliorer l'isolation pour faire passer le thermomètre de 20 à 22°C est absurde. Par ailleurs, la surface habitable par habitant ne cesse de croître: en Suisse, on est passé de 35 m<sup>2</sup>/

hab. dans les années 1980 à 46 m<sup>2</sup>/hab aujourd'hui. Donc au final, on consomme autant qu'avant, voire plus.

**Les rénovations peuvent donc avoir un contre-effet négatif si elles ne s'inscrivent pas dans une démarche globale et raisonnée.**

Absolument. Nous avons déjà évoqué les implications sur le plan énergétique, mais le risque est aussi social. L'assainissement est parfois l'occasion saisie par les propriétaires pour expulser les locataires et augmenter les loyers, ce qui conduit à la gentrification de quartiers qui connaissaient jusque-là une plus grande mixité sociale. C'est une perte!

**Le mot de la fin?**

Nous disposons aujourd'hui de connaissances qui nous permettraient de concilier

nécessités de l'aménagement et enjeux climatiques. Il s'agit maintenant d'impliquer tous les acteurs du domaine de la construction, dans une approche large: soutenir la formation des architectes et des mandataires de la construction, informer les maîtres d'ouvrage, impliquer les entreprises, les investisseurs et les politiques pour que ce qui reste aujourd'hui un engagement citoyen devienne la norme de demain.

1 O. Hamant, *Antidote au culte de la performance. La robustesse du vivant* (2023).

# Glossaire

## Émissions grises

Toutes les émissions de CO<sub>2</sub> (ou d'équivalents CO<sub>2</sub>) générées pendant les phases de production, transport, mise en œuvre, entretien et recyclage d'un matériau, correspondant à l'empreinte carbone des matériaux et du bâtiment hors utilisation courante.

## Énergie grise

Quantité totale d'énergie primaire dépensée lors de la production, du transport, de la mise en œuvre, de l'entretien et du recyclage d'un matériau ou d'un produit, hors énergie consommée lors de l'utilisation proprement dite du bâtiment.

## Humidité superficielle et fRsi

La norme SIA 180:2014 définit un facteur de température superficielle minimal (fRsi) en fonction de la situation géographique du bâtiment au-dessus duquel le risque de condensation est écarté pour une utilisation du bâtiment aux conditions normales et une exécution conforme. Il est important de vérifier ce facteur dans les endroits critiques des ponts thermiques et des raccords. La géométrie des ponts thermiques ou une faible isolation peuvent occasionner des températures de surfaces intérieures assez faibles. Sur le plateau romand, le fRsi est de minimum 0.72. À partir de cette valeur et au-dessus, le détail est assuré. En dessous, cela ne signifie pas qu'il y aura automatiquement condensation ou moisissures, mais si c'est le cas, les planificateurs peuvent être tenus pour responsables.

## Isolants biosourcés

Les laines et flocons biosourcés (bois, cellulose, chanvre, mouton, etc.) ont une bonne valeur isolante. Ils sont ouverts à la diffusion de vapeur et

permettent d'emmagasinier une certaine quantité d'humidité et de s'assécher ensuite. La pose d'un frein-vapeur est indispensable pour limiter la migration de la vapeur.

## Isolants minéraux

Les isolants, comme le silicate de calcium, l'argile ou le crépi de chaux isolant, peuvent être utilisés sans frein-vapeur grâce à leur grande capacité de séchage. Les panneaux doivent être parfaitement collés avec un lissage horizontal sur une surface préalablement lissée.

## Point de rosée

L'air contient en permanence de l'eau à l'état de vapeur. La teneur d'eau à saturation dépend de la température de l'air. Lorsque la température de l'air descend et le point de saturation est atteint, l'eau condense. Cette température est appelée «point de rosée» lorsque l'humidité relative atteint 100 %. Les moisissures se développent déjà à partir de 80 % avec de l'air immobile.

## Valeur λ

La conductivité thermique λ (lambda) d'un matériau représente le flux de chaleur qui passe en une seconde à travers une surface de 1 m<sup>2</sup> et une épaisseur de 1 m, lorsqu'il y a une différence de température de 1°C (ou 1°K) entre l'intérieur et l'extérieur. Son unité se donne en W/(mK). Plus le λ est petit, plus le matériau est performant énergétiquement.

## Valeur g

La valeur g indique la capacité du vitrage, à laisser entrer le rayonnement solaire (gains solaires). Le soleil, énergie gratuite, participe à la fois au chauffage du bâtiment et à son éclairage. La valeur g

s'étend de 0 à 1 (0 à 100 %). Un vitrage doté d'un g de 0.65 laisse passer 65 % de l'énergie reçue du soleil.

## Valeur G

La valeur G représente la capacité de stockage thermique de l'ensemble de l'enveloppe du bâtiment, c'est-à-dire la quantité de chaleur que les composants de l'enveloppe (murs, planchers, toiture, etc.) peuvent absorber et restituer lors des variations de température. Cette propriété joue un rôle crucial dans la régulation thermique des bâtiments, particulièrement dans le cadre des standards suisses Minergie et SIA 380/1, où la valeur G permet d'évaluer l'inertie thermique et son impact sur le confort et l'efficacité énergétique. La valeur G est exprimée en kJ/K et représente la capacité d'accumulation de chaleur pour une unité d'élévation de température.

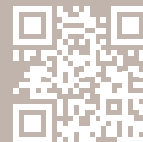
## Valeur U

La valeur U donne une information sur la performance d'isolation d'un élément de construction. Elle indique la quantité de chaleur qui passe en une seconde à travers une surface de 1 m<sup>2</sup> lorsqu'il y a une différence de température de 1°C entre l'intérieur et l'extérieur. L'unité de la valeur U se donne en W/(m<sup>2</sup>K). Plus la valeur U est petite, meilleure est l'isolation thermique. La valeur U d'un élément dépend de la conductivité thermique λ des matériaux et de leurs épaisseurs, ainsi que des résistances superficielles intérieures et extérieures.

La valeur Uw (U window) correspond à la valeur U de la fenêtre.

## RÉFÉRENCES

Fiches TypoRENO-VD

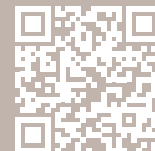


Étude eREN



**Energie-environnement**

La plateforme d'information développée par les cantons romands energie-environnement.ch répertorie des conseils en matière de rénovation mais aussi de biodiversité, mobilité ou encore électroménager.



**Programme des bâtiments**

Pour Fribourg



## AUTRES RÉFÉRENCES

Pour les fenêtres, voir les outils développés dans le Canton de Genève



Manuel «Énergie et monuments historiques»  
Canton de Berne



Programme RENO-NE



## Remerciements

Pro Fribourg remercie chaleureusement les donateurs qui ont, grâce à leur soutien financier, rendu possible la réalisation de cette publication:

- Loterie romande
- Fondation UBS pour la culture
- Établissement cantonal d'assurance des bâtiments du canton de Fribourg
- Service des biens culturels de l'Etat de Fribourg
- Banque cantonale de Fribourg
- Institut Transform de la Haute école d'ingénierie et d'architecture de Fribourg
- Atelier architecture Espaces & Environnement sàrl, Fribourg

Merci aussi à l'État de Vaud, par la DGIP-MS et la DIREN-EFFI, de nous avoir permis d'utiliser et de valoriser les résultats de l'étude TypoRENO-VD – Stratégies de rénovation pour le patrimoine vaudois.

Merci aux auteurs qui ont apporté leur précieuse contribution.

Enfin, merci à toutes les personnes qui s'engagent pour la préservation du patrimoine et du climat.



Fondation UBS  
pour la culture





