

Domus Antiqua Helvetica Genève

ENERGIE ET DEMEURES HISTORIQUES



Domus Antiqua Helvetica a pour but d'aider les propriétaires de demeures historiques ou présentant un intérêt pour l'histoire de l'art à conserver et entretenir leur demeure, de les informer sur les charges et les devoirs liés à leur propriété, de sensibiliser les autorités et d'informer le public. A cette fin, Domus Antiqua Helvetica Genève publie des cahiers thématiques qui touchent divers thèmes d'intérêt pour les propriétaires de demeures historiques : la restauration, le droit et la fiscalité, l'énergie, le paysage ainsi que certaines réalités pratiques auxquelles sont exposés les propriétaires. Ces cahiers s'adressent à un public d'amateurs qui veulent conserver et ultimement léguer leur propriété aux générations futures dans le respect des meilleures pratiques et des règles de l'art.

Table des matières

Introduction	1
1. LE CADRE LÉGAL	4
Patrimoine et énergie, un juste équilibre à trouver	4
2. PERSPECTIVE HISTORIQUE	9
Chauffage et confort thermique	9
Architecture et développement durable	11
Perspectives futures: la stratégie énergétique suisse	12
3. GUIDE PRATIQUE	13
Vade-mecum du projet énergétique	13
De quelle énergie parle-t-on ?	14
Le bilan thermique	15
Sobriété et mitigation	16
Caux Palace: la sobriété choisie	17
Production de chaleur	18
Chauffages à bois	18
Pompes à chaleur (PAC)	19
Distribution de chaleur	21
Économies de chaleur	22
Matériaux isolants adaptés aux bâtiments anciens	22
Isolation de l'enveloppe: possibilités et limites	23
Notions utiles en physique du bâtiment	24
Assainissement des fenêtres	26
Prêcher par l'exemple: la maison de Matten	28
Installations solaires	29
Panneaux photovoltaïques	29
Capteurs thermiques	31
4. RÉALISATIONS EXEMPLAIRES	33
5. FINANCEMENT ET FISCALITÉ	58
Pour plus d'informations	62
Résumé des Cahiers pratiques précédents	64
Remerciements	67

Mot du Président

Longtemps nous avons souhaité faire un cahier sur les demeures historiques et sur le thème de l'énergie. Mais cela n'a pas été chose facile. Parce que le domaine est somme toute technique, parce que les vrais spécialistes sont peu nombreux, et parce que chaque maison est en définitive particulière.

En matière de patrimoine et d'énergie, il y a des faits sur lesquels tout le monde s'accorde:

- Tout d'abord, les demeures historiques sont des modèles de développement durable: elles existent le plus souvent depuis des centaines d'années et ont utilisé pour leur édification des matériaux naturels et pérennes.
- Ensuite, et pour calibrer la thématique, les objets protégés par une norme de protection, soit l'inventaire ou le classement, ne représentaient en 2016 que 4% du parc immobilier suisse. Par leur nombre, les demeures historiques ne sont ni la seule cause, ni l'unique solution de la réelle problématique énergétique à laquelle nous sommes confrontés.
- Enfin, chaque demeure historique a ses spécificités qui procèdent de sa longue histoire, chacune est particulière et requiert connaissance et compréhension.

Mais cette situation impose des devoirs à chacune et chacun:

- La stratégie énergétique de la Confédération et des cantons doit tenir compte de ces faits. Plus encore, le législateur et l'administration doivent adapter leurs règles et leurs politiques pour refléter et s'adapter à ce collectif d'exceptions et de cas particuliers. Souplesse et compréhension sont nécessaires. «*One size doesn't fit all*». Appréhender ces vieilles demeures requiert sensibilité et flexibilité du politique et de l'administration. À cet égard, nous avons eu une contribution conjointe de l'Office cantonal de l'énergie et de l'Office du patrimoine et des sites du Canton de Genève, qui illustre fort bien leurs philosophies respectives et leur collaboration exemplaire.
- Le corps professionnel, soit les architectes, les ingénieurs et les entreprises, sont peu formés à la technicité et

aux enjeux de l'efficacité énergétique des demeures historiques. La durabilité est à l'ordre du jour mais, sur le terrain, les connaissances sont lacunaires. Preuve étant le temps que nous avons mis pour dégager les meilleures pratiques et trouver des exemples de qualité.

- Mais c'est aussi au propriétaire de s'adapter aux contraintes intrinsèques qu'habiter un bâtiment ancien imposent. Son mode de vie et ses espaces de vie doivent le refléter car on ne peut vivre dans une maison du XVIII^e comme dans une maison contemporaine au label Minergie. Sinon, il risque d'intervenir sur son bâtiment de manière inappropriée. Il lui faut pratiquer une certaine frugalité dans ses besoins et ses moyens.

Nous avons avec ce cahier tâché de répondre à la question suivante: que puis-je entreprendre en tant que propriétaire d'une demeure historique pour améliorer la production, la distribution et la consommation d'énergie?

Comme pour nos cahiers précédents, notre démarche consiste à présenter pour nos membres une analyse objective, non partisane, et une démarche claire. Chaque maison étant différente, et les solutions aussi multiples, nous illustrons par dix exemples de différents cantons suisses des interventions exemplaires.

Nous avons voulu réaliser un cahier avant tout pratique, utile et illustratif. Il s'inscrit dans son époque, en 2022, avec nos aspirations et nos limitations. Ce qui est sûr, c'est que ce sujet de l'énergie est sur la table: comment se nourrir, se mouvoir, voyager, consommer, habiter de façon responsable? On ne peut l'éviter. Reste à chacune et chacun de faire des choix et décider quelles améliorations sont justes et réalistes. Heureusement, nos membres peuvent compter sur l'expertise et les conseils des offices de l'énergie comme du patrimoine et des sites du Canton de Genève.

Puisse ce cahier aider nos membres et les propriétaires à faire les bons choix aujourd'hui et pour les prochaines générations.

Rémy Best
Président

Éditorial

*Une société sans passé n'a pas d'avenir.
Mais il n'y a pas d'avenir à vivre dans le passé.*

Le réchauffement climatique représente l'un des défis majeurs de notre époque. Nos sociétés sont traversées par une vague de fond appelant à un changement radical en matière de préservation des ressources, de protection de la biodiversité et du cadre de vie, et plus spécifiquement à une limitation urgente des émissions de gaz à effet de serre.

À ce titre, la Stratégie énergétique de la Confédération a donné une impulsion bienvenue à l'assainissement du parc immobilier suisse, en visant la neutralité carbone à l'horizon 2050. Cet objectif, lointain à l'échelle humaine – une génération – mais en réalité imminent à l'échelle historique, se traduit par une rapide évolution des politiques publiques, mais aussi du cadre réglementaire qui en découle. Entre contraintes légales, incitations financières ou motivations personnelles, les propriétaires de bâtiments historiques n'échappent pas à la question.

Dépositaires d'un héritage à la valeur inestimable, ayant souvent traversé les siècles sans transformations fondamentales, ils s'interrogent à juste titre sur les injonctions contradictoires auxquelles celui-ci est désormais soumis: préserver ou transformer? Évoluer, au risque de perdre sa raison d'être?

La transition énergétique ne saurait en aucun cas se réduire à l'emballage des façades, au remplacement des fenêtres et au saupoudrage de panneaux solaires en toiture, en faisant fi des qualités architecturales d'un édifice. En appliquant des solutions standardisées, sans égard pour le contexte culturel, historique et paysager, le risque d'une banalisation de l'environnement construit est réel. Pour concilier les objectifs légitimes de la préservation du patrimoine bâti et des économies d'énergie, il paraît essentiel de développer des approches spécifiques, innovantes et durables.

S'affranchissant de tout débat idéologique, le cahier «Énergie et demeures historiques» de Domus Antiqua Genève propose une information rigoureuse, une vision globale et des pistes concrètes à toute personne intéressée par les enjeux de la transition énergétique concernant le patrimoine bâti.

Alors que la stratégie énergétique vise essentiellement des performances quantitatives – normées, chiffrées, par nature simples à saisir – la protection du patrimoine se base quant à elle sur un ensemble de critères qualitatifs ressortissant plutôt des «bonnes pratiques» ou des «règles de l'art» qui, bien que structurés par des méthodologies d'appréciation rigoureuses, sont potentiellement moins faciles à cerner. Le chapitre introductif expose ainsi le cadre légal genevois, en particulier la manière dont les deux politiques publiques du patrimoine et de l'énergie sont coordonnées au sein d'un seul et même département.

Le second chapitre donne un bref aperçu historique quant à l'emploi des énergies dans le bâtiment. De la frugalité de l'ère préindustrielle à l'abondance des Trente Glorieuses, les enjeux énergétiques ont de tout temps marqué la production architecturale. On peut même avancer que les notions de confort thermique et de protection climatique sont consubstantielles à l'art de bâtir. La question posée aujourd'hui n'est ainsi pas nouvelle.

Le corps de l'ouvrage consiste en un «guide pratique» de l'assainissement énergétique de bâtiments patrimoniaux. Il présente un panel de solutions mesurées, pragmatiques et adaptées, dans un domaine en constante évolution où l'innovation technique et l'apparition de nouveaux produits amplifient régulièrement le champ des possibles, mais soulèvent tout autant de questions quant à leur mise en œuvre concrète. Cette partie du cahier explicite également un ensemble de termes et de notions techniques répandus dans le domaine de l'énergie, dont la compréhension est essentielle pour le dialogue entre propriétaires, maîtres



Poêle fermé et cheminée ouverte : deux modes de chauffage historiques se côtoient dans la maison de maître de Landecy, désormais aussi avec un chauffage au sol moderne, lui-même alimenté au bois. (Photo Olivier Wavre / Vigée Le Brun)

d'états et spécialistes. La *valeur U* et le *lambda*, la *surface de référence énergétique* ou la différence entre énergie primaire et énergie finale n'auront ainsi plus de secrets pour personne.

Rares sont encore les rénovations qui concilient de manière optimale les objectifs de protection du climat et de préservation de l'environnement bâti, tout en atteignant une haute qualité architecturale. La quatrième partie réunit une sélection représentative, issue de la ville et de la campagne genevoise, mais aussi de Suisse romande et alémanique. Ces réalisations exemplaires illustrent une grande diversité d'objets et de situations initiales, auxquelles répondent autant de projets spécifiques. Il y a ce que les maisons historiques supportent en termes de rénovation, et ce qu'elles ne peuvent pas accepter sans vendre leur âme. Mais il y a aussi qu'elles nous enseignent en termes de résilience, d'économie des ressources, d'adaptation fine aux conditions climatiques. Ces trois aspects sont éminemment

intriqués, et la frontière entre l'un et l'autre souvent difficile à discerner. Tout projet de rénovation respectueux doit se frayer un chemin entre ces exigences. Il est souvent tortueux, mais toujours passionnant!

Enfin, la section conclusive offre une information approfondie quant aux possibilités de financement, de subventions et aux incidences fiscales des travaux de rénovation énergétique. Elle présente également un choix de sites et d'organismes spécialisés, ainsi que de publications de référence.

Préservation du patrimoine et économies d'énergie: deux principes souvent présentés comme antagonistes. Mais au fond, leur finalité n'est-elle pas la même, celle de préserver l'environnement bâti et l'environnement tout court pour les générations futures?

*Aleksis Dind
Architecte et rédacteur du cahier*

1. Le cadre légal

Patrimoine et énergie, un juste équilibre à trouver

Les demeures historiques sont des modèles de développement durable: ce sont des exemples de résilience de par leur longue période d'utilisation et la durée de vie des matériaux utilisés; des matériaux naturels, réemployés et réemployables à souhait, la plupart du temps extraits sur ou à proximité du site de construction, qui ont engendré un minimum de transport et généré peu d'impacts environnementaux.

C'est un atout pour la conservation du patrimoine et il y a lieu de modérer les efforts visant la transition énergétique sur ces constructions, d'autant que les statistiques du nombre de bâtiments à haute valeur patrimoniale (env. 6 000) et celui des bâtiments situés dans un périmètre protégé (env. 18 000) montrent que moins de 30% des bâtiments sont concernés par une protection patrimoniale.¹ Si la vision générale de la politique énergétique pour les bâtiments existants vise à diminuer les besoins de chaleur et de froid et à sortir du chauffage fossile, sa mise en œuvre sur les bâtiments sous protection patrimoniale doit être pondérée. Il s'agit, en premier lieu, d'assainir leur enveloppe en limitant l'atteinte à la substance protégée, puis

d'optimiser le fonctionnement des installations existantes dès lors que ces mesures impliquent des coûts et des nuisances limités pour les usagers des bâtiments, mais avec un gain énergétique non négligeable. En deuxième lieu, il sera nécessaire de les alimenter au moyen de sources non fossiles même si la consommation est légèrement supérieure. Les projections montrent que l'effort complet déployé sur 70% du parc immobilier genevois et l'effort «sur mesure» pour les 30% protégés restants pourraient, dans une large mesure, soutenir les objectifs d'économie d'énergie projetés à l'horizon 2030.

Il n'en reste pas moins que chaque citoyen est engagé par l'urgence climatique et que l'on peut ambitionner de faire mieux. Motivé par des raisons diverses, obligation légale, inconfort, coût de chauffage, volonté de participer aux économies d'énergie et à la transition énergétique, chaque propriétaire est tenu de porter un intérêt à ces questions.

Il nous appartient, en tant qu'entités étatiques, de concilier les politiques publiques énergétiques et patrimoniales et d'orienter le propriétaire vers un mode d'intervention adéquat dans un bâtiment historique.

L'office cantonal de l'énergie (OCEN) et l'office du patrimoine et des sites (OPS) ont la chance d'être réunis au sein du même département cantonal, en l'occurrence le département du territoire (DT). Chacune de ces politiques publiques a ses règles. Parfois, les solutions propres à l'une ou à l'autre divergent et il en devient quasi impossible de satisfaire l'une sans précéder l'autre alors qu'il s'agit de deux politiques équivalentes en termes de légitimité et de nécessité.

Les offices en charge de ces politiques publiques ont fondamentalement changé de paradigme. Les arbitrages ne se fondent plus exclusivement sur des normes et des concepts, mais ils s'adressent aux générations futures pour leur demander quelles sont les solutions d'aujourd'hui qu'elles considéreront comme sages et intelligentes dans le monde de demain.

L'esprit dans lequel nous développons cette collaboration est d'ajouter nos savoirs et nos expériences dans le but de privilégier la situation la plus favorable sur le plan culturel, technique, économique, environnemental et de qualité de vie.

■ **La loi et son application à Genève**
Historiquement, la compétence en

matière d'énergie est dévolue aux cantons. Dans le but d'harmoniser leurs lois, les cantons ont établi un «Modèle de prescriptions énergétiques des cantons», le MoPEC, modèle qu'ils se sont engagés à intégrer dans leur dispositif et qui est régulièrement mis à jour. La superposition des politiques publiques est inévitable et c'est plus la méthodologie qu'une règle fixe qui s'est imposée. À ce titre, l'article 1 de la loi sur l'énergie du 18 septembre 1986² est déterminant puisque les buts évoquent principalement une utilisation rationnelle de l'énergie.³

Le respect des prescriptions légales visant la réduction de la consommation énergétique et des émissions de gaz à effet de serre constitue un principe général applicable à tous les bâtiments neufs ou existants, y compris ceux au bénéfice d'une protection patrimoniale.

Des dérogations sont toutefois possibles pour cette dernière catégorie de bâtiments, en vertu notamment du principe de la proportionnalité. Elles doivent être sollicitées par la personne propriétaire du bien ou par son ou sa mandataire.

Si le système dérogatoire n'est pas une solution en soi et qu'il est préférable de mettre en place des pratiques générales et reproductibles, le patrimoine bâti se définit souvent par une succession d'exceptions ou de cas particuliers. Ils sont liés à

différents facteurs: l'ancienneté d'un bâtiment, son mode de construction, la nature des matériaux utilisés, leur état de conservation, les synergies entre les matériaux, leur réaction aux variations hygrométriques, la source et la fréquence des apports d'humidité, l'orientation des bâtiments, la nature des sols sur lesquels ils sont construits... Ce sont autant d'éléments, parmi d'autres, qui font que chaque construction demeure, une fois tous ces paramètres réunis, un cas unique.

Il apparaît donc indispensable de procéder au diagnostic du bâtiment de manière à pouvoir établir un catalogue des réponses possibles. Le terme de «mise aux normes» s'avère alors clairement inadapté à ce contexte; on évoquera plutôt un choix sur mesure, respectueux du patrimoine et permettant de s'approcher au plus près des objectifs énergétiques et climatiques globaux.

On comprend bien ici que c'est par un dialogue entre les partenaires et les spécialistes que le projet trouvera un chemin optimal et durable.

Les offices en charge de ces politiques publiques doivent prendre des décisions devant des projets concrets. C'est au cours de séances de coordination mensuelles OPS - OCEN que les dossiers particuliers et potentiellement conflictuels sont analysés, au cas par cas, de manière à statuer en bonne intelligence.

Nous avons choisi de fonder nos décisions sur un esprit de concertation entre les entités publiques et privées concernées par le projet, et sur la prise en compte de considérations diverses fondées sur des choix de durabilité (impacts environnementaux, énergie grise, risques sanitaires, etc.).

■ **Les travaux sur les bâtiments**

L'expérience de ces dernières années nous permet toutefois de partager de plus en plus de solutions reproductibles et de mieux cibler des interventions avec un rapport équilibré entre diminution de la consommation énergétique, conservation du patrimoine, investissement financier, sans oublier les impacts gris – pollution et énergie grises – encore trop souvent ignorés. La mise en place d'une fiche de bonnes pratiques sur l'assainissement des fenêtres et des embrasures en façade est sans doute le meilleur exemple de cette concertation.⁴

En 2016 déjà, l'office du patrimoine et des sites et celui de l'énergie ont publié ensemble ce guide. L'élaboration de ce document a rassemblé les protagonistes du patrimoine, de l'énergie, de la santé (amiante, qualité de l'air), des milieux académiques et surtout des milieux professionnels de la fenêtre, notamment de la menuiserie et de la serrurerie. Cette co-construction a été la clé du succès et ce sont des dizaines de milliers de fenêtres qui ont pu être restaurées et assainies ces dernières années, dans le respect des divers intérêts en jeu.

¹ Sur la base des 80 957 bâtiments cadastrés dans le canton de Genève, environ 48 000 sont chauffés, donc potentiellement directement concernés par des mesures énergétiques. En décembre 2021, l'office du patrimoine et des sites a dénombré 5 727 bâtiments à haute valeur patrimoniale et culturelle (classés, inventaires, ensembles ou maintenus dans les plans de site) soit 7% du parc immobilier genevois et 17 535 autres bâtiments comprenant la Vieille-Ville, le secteur sud des anciennes fortifications et les zones protégées (plans de site, règlements spéciaux, zone 4B protégée et de développement 4B protégée, protection des rives, lac, Arve, Rhône et Versoix) soit 21,7%.

² L 2 30, LEn

³ LEn, art.1 : La présente loi vise à contribuer à un approvisionnement énergétique suffisant, diversifié, sûr, économique et respectueux de l'environnement. Elle a pour but :
a. de garantir une fourniture et une distribution de l'énergie économiques et respectueuses de l'environnement ;
b. de garantir une utilisation économe et efficace de l'énergie ;
c. de permettre le passage à un approvisionnement en énergie basé sur un recours accru aux énergies renouvelables, en particulier aux énergies renouvelables indigènes.

⁴ <https://www.ge.ch/document/guide-bonnes-pratiques-assainissement-fenêtres-batiments-protéges>

Des solutions sont également proposées pour l'isolation des toitures, entre chevrons, ou sur plancher des combles froids avec d'excellents résultats. Il en est de même pour l'isolation du sol des maisons historiques, par les caves.

À ce jour, aucune proposition satisfaisante correspondant aux méthodes de calcul n'a été trouvée pour l'isolation des murs de bâtiments patrimoniaux. Que ce soit par l'intérieur ou par l'extérieur, ce type d'intervention engendre une trop grande perte de la substance patrimoniale, une altération des volumes et un dommage esthétique évident. Matériaux (crépi, pierre de taille, brique, boiseries, etc.), modénature des façades (encadrements, décors, peintures, reliefs des cordons ou corniches, etc.) et/ou décors intérieurs sont anéantis par ce type d'intervention. En l'état de nos connaissances et des techniques à disposition, chaque cas est étudié individuellement et des solutions allant d'une isolation conforme à un renoncement total d'isolation sont proposées, le renoncement de tout ou partie de l'isolation devant être compensé autant que possible par d'autres solutions permettant de diminuer le recours aux énergies fossiles.

■ *La production d'électricité et de chaleur solaire*

Les bâtiments historiques sont aussi concernés par l'encouragement fédéral prévu par la loi sur l'aménagement du territoire⁵ et ne sont pas a priori exemptés des obligations légales. Toutefois, comme pour les travaux

d'assainissement, des dérogations et des aménagements sont possibles afin de ne pas porter une atteinte grave à la valeur patrimoniale des bâtiments et au paysage des sites protégés.

La dernière directive relative à l'installation de panneaux solaires dans le canton de Genève a été éditée en 2015.⁶ Ce guide, qui tient compte des particularités liées aux bâtiments historiques, est utilisé au quotidien par les préavisés de nos différents offices (OAC, OCEN, OPS), mais il est aujourd'hui obsolète. Le renforcement de la LEn, les ambitions de la neutralité carbone du canton de Genève à l'horizon 2050, l'évolution rapide des matériaux, la priorité et l'accroissement de la part d'installations solaires photovoltaïques par rapport aux panneaux solaires thermiques appellent à une mise à jour des directives.

Un nouveau guide des installations solaires réalisé conjointement par nos deux offices, et en association avec les SIG, sera mis en consultation au printemps 2022. En complément des dernières directives, ce guide prévoit un accompagnement coordonné des propriétaires par les acteurs publics (SIG, communes, État). Si les opportunités d'insertion des panneaux solaires sur les toitures des bâtiments à haute valeur patrimoniale demeurent relativement restrictives (essentiellement terrasses et toitures plates), de nouvelles possibilités sur les constructions situées en zone protégée seront offertes, en respectant des critères de conformité et d'intégration dans les

règles de l'art (emplacement adéquat, teinte assortie, matérialité et pose affleurée). L'accent sera mis sur l'intégration architecturale et paysagère, notamment dans les zones villageoises (4B protégée), sur un accompagnement aux entités groupées et sur la sensibilisation des propriétaires, des mandataires et des installateurs.

Il est important de relever que, selon le droit fédéral, les installations solaires sur des biens culturels ou dans des sites naturels d'importance cantonale ou nationale sont toujours soumises à autorisation de construire.⁷

■ *En chantier*

Un chapitre sur un inventaire de comportements «responsables» lorsqu'on habite une demeure historique et une liste de mesures d'assainissement «raisonnables» reste à écrire. Sans revenir au bon pull en laine de nos parents, il n'est sans doute pas inutile de rappeler que les modèles de calcul des normes ou les labels type Minergie ne peuvent être appliqués aux bâtiments historiques. Ils se réfèrent à des conditions d'utilisation normalisées qui peuvent considérablement différer de la réalité, surtout dans des bâtiments historiques. Il apparaît alors évident que l'adaptation des modes de vie de type occupation saisonnière, réduction des espaces de vie en période hivernale, ou encore réduction de la température ambiante sont des vecteurs d'économie d'énergie déterminants dans les bâtiments historiques. Dans ce contexte, le retour au bon sens, ou au «low tech», reprennent leurs lettres de noblesse.

En parallèle, il ne faut pas minimiser les risques d'une intervention inappropriée sur une demeure historique; nos services rencontrent fréquemment des dommages liés à des travaux inadaptés (malfaçon dans la mise en place d'isolation, utilisation de matériaux insuffisamment perméables à la vapeur, fenêtres trop hermétiques en regard du système de ventilation, etc.) qui engendrent des déséquilibres hygrométriques. Ces modifications peuvent avoir des conséquences graves, comme l'apparition de moisissures, de pourrissement des poutres ou encore d'insalubrité par manque d'aération, et les coûts de remise en état peuvent s'avérer conséquents.

D'où la nécessité de s'affranchir des démarchages de fournisseurs qui ne s'occupent que d'un seul aspect du bâtiment et l'importance de travailler avec des entreprises aptes à maîtriser les équilibres des bâtiments anciens pour bénéficier d'une expertise professionnelle et adaptée.

Nos entités publiques sont à la recherche d'une vision partagée d'une société durable dans le respect de nos divers patrimoines; celui construit et paysager, mais aussi celui de nos ressources et de notre environnement de vie. Nous sommes reconnaissants à Domus Antiqua de contribuer à l'exploration et à la diffusion de cette nouvelle culture.

Emile Spierer,
attaché de direction à l'OCEN

Babina Chaillot Calame,
conservatrice cantonale des monuments à l'OPS

⁵ LAT, art. 18a

⁶ <https://www.ge.ch/document/directive-relative-installation-panneaux-solaires>

⁷ Art. 18a, al. 3 de la loi fédérale sur l'aménagement du territoire, du 22 juin 1979 (RS 700; LAT).



Château de l'Aile, Vevey: la chaufferie historique de 1840, dépouillée de ses équipements techniques récents, lors de la rénovation des années 2010.

Photo: François Bertin / Rémy Gindroz

2. Perspective historique

Chauffage et confort thermique

Avant l'ère industrielle, la plupart des maisons sont chauffées pièce par pièce, au moyen de **cheminées ou de poêles à bois**. Le poêle fermé, nettement plus efficace que le foyer ouvert, se développe en Suisse dès le XVI^e siècle, plus particulièrement aux XVII^e et XVIII^e siècles en Suisse alémanique.¹ En Suisse romande, la cheminée ouverte perdure toutefois jusqu'au XIX^e siècle, principalement pour des questions d'agrément. Dans cette région, les demeures présentant simultanément les deux modes de chauffage ne sont pas rares.

Ces modes de production de chaleur sont éminemment frugaux – seuls sont chauffés les locaux utilisés, et uniquement pour la durée nécessaire – mais induisent un certain inconfort, dû aux fluctuations de température dans le temps comme dans l'espace de l'habitation. Ils impliquent en outre une forte charge de travail, l'alimentation des foyers devant se faire manuellement et avec une certaine régularité. Dans les maisons bourgeoises, cette tâche était usuellement dévolue aux domestiques.

Le développement de techniques visant à apporter la chaleur de manière

homogène et simplifiée se produit d'abord en Angleterre, entre la fin du XVIII^e et le début du XIX^e siècle. Les tout premiers **chauffages centraux** distribuent de l'air chaud par simple convection directement dans les pièces, au moyen d'un réseau de conduits muraux reliés à une chaudière centrale. En Suisse romande, un exemple précoce de chauffage à air se trouve au château de l'Aile à Vevey (vers 1840), dont le propriétaire² avait séjourné en Angleterre ; il en importe à la fois le style néogothique et les derniers raffinements techniques.

Ce dispositif reste malgré tout inconstant : le débit et la température de l'air diminuent à mesure que l'on s'éloigne de la source de chaleur. En parallèle se développe le **chauffage à vapeur**, qui recourt à un réseau de distribution sous pression aboutissant à des radiateurs en fonte pour diffuser la chaleur plus uniformément et à plus grande distance. Durant la deuxième moitié du XIX^e et jusqu'au début du XX^e siècle, ces installations centralisées sont principalement réservées à de luxueux établissements privés ou hôteliers ; elles ne se démocratisent qu'après la Première Guerre mondiale. La production de chaleur est alimentée avant tout au charbon.

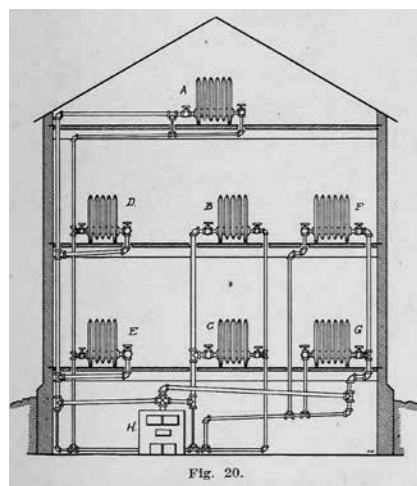


Château de l'Aile, Vevey: depuis sa reconstruction néogothique en 1840, un réseau d'aéroducs invisibles pourvoit tout le bâtiment en chauffage à air pulsé. Ici, le conduit débouche dans le buffet de la salle à manger. L'air chaud est diffusé dans la pièce par le biais d'une fente ménagée dans le socle, mais passe également à l'intérieur du meuble, qui fonctionne dès lors comme chauffe-plats.

Photos: Christophe Amsler / AGN architectes

¹ ILLI Martin : «Chauffage», in *Dictionnaire historique de la Suisse (DHS)*

² Le banquier Jacques-Edouard Couvreur de Deckersberg (1803-1872) épouse en 1845 sa cousine Mathilde Micheli, de Genève, et s'installe la même année à l'Aile dont il vient de terminer les travaux.



Chauffage central à vapeur.
in ALLEN John Robins: *Notes on heating and ventilation*, Domestic Engineering, Chicago, 1906, fig. 20, p. 105.

Les chauffages centraux à **eau chaude** apparaissent en Suisse vers 1930; couplé à celui des pompes de distribution électriques, leur développement est fulgurant et ils constituent depuis lors l'essentiel des systèmes de distribution de chaleur. La production de chaleur, quant à elle, passe en quasi-totalité aux produits pétroliers (mazout) dès les années 1950.

Les chocs pétroliers des années 1970 mettent brutalement en lumière les effets d'une forte dépendance aux énergies fossiles. Si la France opte pour le développement du chauffage électrique et de l'énergie nucléaire, la Suisse entame à la fin des Trente Glorieuses un virage vers une réduction de la consommation énergétique des bâtiments.³

Pour résumer, l'évolution des techniques a poursuivi deux objectifs congruents: **augmenter le confort, diminuer la dépense énergétique.** À ce titre, le passage du foyer ouvert au foyer fermé, par exemple, constitue un progrès majeur en termes d'efficacité, à une époque où la rareté des ressources énergétiques – le bois de chauffage – était déjà une préoccupation.⁴

De la même façon, le développement des chauffages centraux au XIX^e siècle a eu pour résultat un doublement des capacités calorifiques à

chaque changement de fluide caloripporteur (air, vapeur, eau), permettant de chauffer de plus grandes surfaces avec plus d'homogénéité. Dès 1850 et plus encore après 1950, la découverte des combustibles fossiles a constitué une révolution sans précédent, qui a mis à disposition une énergie bon marché et facile d'accès dont il conviendrait désormais de se passer. Aujourd'hui, l'enjeu de la transition énergétique consiste donc à réduire drastiquement la consommation d'énergie, tout en maintenant les acquis du confort.

On pourrait faire le même exposé concernant l'énergie électrique dans le bâtiment, dont l'usage a suivi un développement similaire depuis son apparition au XIX^e siècle: d'abord dévolue à l'éclairage, puis à la cuisson des aliments, elle est devenue indispensable aux installations du bâtiment (chauffage, ventilation, climatisation, ascenseurs) depuis le milieu du XX^e siècle et accompagne aujourd'hui également l'explosion des techniques liées à l'informatique et aux télécommunications. ■

Architecture et développement durable

La mutation sociétale amorcée suite aux chocs pétroliers et à la sortie des Trente Glorieuses s'est cristallisée sous la bannière du **développement durable**, un concept holistique apparu à la fin des années 1980, qui entend concilier les objectifs de prospérité économique avec ceux de la protection environnementale, sans oublier la composante sociale et culturelle d'un tel changement de perspective.¹ En une génération – soit de 1990 à ce jour – les pratiques de la construction ont été profondément modifiées, avec l'apparition de nouveaux courants d'architecture dite «verte» ou écologique, qui visent à économiser les ressources – dont l'énergie – et à limiter l'empreinte environnementale des bâtiments.

■ High-tech vs low-tech

Cette évolution des modes de construction vers plus de durabilité et moins d'énergie est entraînée par deux courants principaux, que l'on pourrait sommairement caractériser de *high-tech* et de *low-tech*.

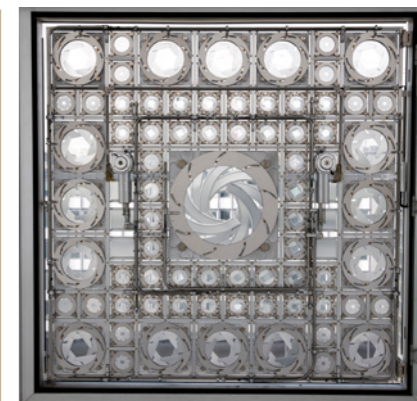
Le premier vise le développement et l'intégration des nouvelles technologies durables, utilisées comme une matière architecturale en soi: façades et toitures solaires, installations de chauffage, ventilation et climatisation développées, voire mis en scène de façon expressive, dispositifs de protection solaire «intelligents» et autorégulés pour donner quelques exemples. L'ingénierie occupe une place centrale dans cette approche, marquée par la recherche de **l'efficace**. L'architecte britannique Norman Foster et le Français Jean Nouvel sont sans

doute parmi les représentants les plus connus de la tendance *high-tech*.

À l'autre extrémité du spectre, l'approche *low-tech* ou *bio-climatique* vise au contraire une forme de **frugalité**: elle se passe de toute technicité excessive, en favorisant les systèmes simples et résilients, et en utilisant avant tout les énergies renouvelables directement disponibles sur site (soleil, vent, pluie). Elle se fonde également sur une valorisation des techniques de construction vernaculaire, qui seraient par nature économes en moyens et en énergie, et particulièrement adaptées au climat du lieu. Enfin, elle compte plus sur l'intelligence des occupants que celui des machines pour gérer le confort thermique et la consommation énergétique des bâtiments. L'architecte australien Glenn Murcutt ou l'agence française Lacaton-Vassal² comptent parmi les tenants d'une approche écologique, sociale et économique que l'on pourrait qualifier de *low-tech*.

■ Vers une architecture patrimoniale et écologique?

Il faut se garder d'opposer ces approches, qui sont loin d'être antinomiques en soi et qui poursuivent le même but. Elles se combinent d'ailleurs souvent efficacement. Dans le champ patrimonial, une approche *low-tech* paraît toutefois plus adaptée au projet énergétique, en ce qu'elle tire parti des conditions locales pré-existantes – le climat, bien sûr, mais aussi le bâti lui-même, dans sa matérialité, son organisation interne et son fonctionnement – plutôt que de les contrer par des procédés techniques.³



Jean Nouvel, Institut du monde arabe, Paris, 1987. La façade sud est composée de 240 moucharabiehs vitrés et motorisés, «reproduisant des motifs traditionnels de la géométrie arabe. [...] Une cellule photo-électrique permet un dosage de la lumière en fonction de l'ensoleillement. Les diaphragmes s'ouvrent et se ferment suivant la luminosité extérieure.» Bien que particulièrement expressif, ce dispositif *high-tech*, sophistiqué et délicat, a été critiqué pour son manque de fiabilité ayant débouché sur une rénovation coûteuse.

(source : IMA, photo Fabrice Cateloy)



Lacaton & Vassal, maison Latapie, Floirac, 1993. Une des premières «maisons-serres» du couple d'architectes, réalisée pour une famille avec un budget extrêmement restreint. Un volume en bois «définit un espace d'hiver isolé et chauffé, ouvert sur la serre [constituant] un espace habitable de la maison, équipé de larges ouvrants d'aération pour le confort d'été. La mobilité des façades [...] permet à la maison d'évoluer du plus fermé au plus ouvert selon les besoins et les désirs de lumière, de transparence, d'intimité, de protection ou d'aération.»

(source : Lacaton & Vassal, photo Philippe Ruault)

³ La norme SIA 380/1 (l'énergie thermique dans le bâtiment) paraît pour la première fois en 1988.

⁴ ILLI Martin: ibidem.

¹ En anglais, ces «trois piliers» (3P) du développement durable sont efficacement résumés par la formule «people, planet, profit».

² Au-delà de leurs pratiques assez différentes, tous les architectes cités ont en commun d'être récipiendaires du prix Pritzker.

³ Voir les essais *Architecture et volupté thermique* de Lisa Hescong et «Énergétique du patrimoine» de Christophe Amsler (cf. bibliographie).

Plus encore, la construction écologique est en partie redevable au patrimoine bâti: il constitue une source d'inspiration précieuse à l'heure où les considérations quant à l'économie des ressources et des moyens, l'énergie grise ou la production en circuits courts sont en passe de devenir des indicateurs de durabilité à part entière. Le grand retour du bois comme matériau de construction du futur est aussi dû à un substrat culturel qui n'avait pas totalement perdu le lien avec les racines de la construction vernaculaire, notamment dans l'espace alpin. Peut-être que l'usage de la pierre massive, aujourd'hui totalement éclipsé par les produits issus de l'industrie du ciment, suivra ainsi le même chemin ?

Comme on le voit, la question énergétique n'est pas nouvelle, encore moins étrangère à la question patrimoniale. De tous temps, elle s'est développée en lien étroit avec la pratique sociale, constructive et architecturale liée à l'habitation. Le terme même de «foyer», au sens de dispositif de chauffage, mais aussi comme synonyme par excellence de demeure et de ménage familial, en témoigne. ■

PERSPECTIVES FUTURES : LA STRATÉGIE ÉNERGÉTIQUE SUISSE

Pour atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050, la stratégie énergétique de la Confédération se base simultanément sur les objectifs suivants :

- une réduction de la consommation globale du parc immobilier de près de 50%, par des moyens liés à l'**efficacité énergétique**¹ (en particulier l'isolation des bâtiments). Le parc bâti représente à ce jour 40% de la consommation énergétique globale en Suisse; le rendre efficient constitue donc un réel levier d'action.
- une augmentation importante de la part des **énergies renouvelables** (énergie thermique et électrique confondues): aujourd'hui proche de 25%, celle-ci devrait grosso modo doubler en 30 ans si l'on entend couvrir les besoins énergétiques de manière autonome.²

Les énergies renouvelables disponibles en Suisse sont la biomasse (le bois de chauffage), la géothermie, l'électricité hydraulique et le solaire photovoltaïque. Pour l'heure, l'éolien fait face à des résistances importantes quant à son déploiement, au vu des impacts paysagers qu'il génère.

Cette politique consistera concrètement en un abandon des énergies fossiles et un important déploiement de la production d'énergie solaire photovoltaïque. Comme la Suisse ne dispose pas de grands espaces inhabités pour ce type d'installations, le potentiel du parc immobilier est considéré comme prioritaire pour sa mise en œuvre. Outre ses besoins propres, celui-ci devrait absorber également l'importante hausse de la consommation d'électricité liée à la mobilité, destinée à abandonner les carburants pétroliers.

La mise en œuvre de la stratégie énergétique est en bonne part déléguée aux Cantons, notamment en ce qui concerne le parc bâti. Le cadre législatif – présenté au premier chapitre – est en évolution rapide pour répondre aux injonctions politiques et aux attentes de la société. Les encouragements administratifs (assouplissement des procédures liées au projet de rénovation énergétique) et économiques (subventions, allègements fiscaux) qui en découlent font quant à eux l'objet du dernier chapitre.

¹ À notre sens, la stratégie énergétique ne tient pas assez compte des moyens non techniques liés à la **sobriété** volontaire. Différents acteurs de la société civile ont toutefois relevé l'important potentiel d'économies énergétiques qui en découleraient. On citera l'association négaWatt ou la «campagne climat» portée entre autres par les associations Patrimoine suisse et Domus Antiqua Helvetica (cf. références).

² Sources: OFS, Statistique des énergies renouvelables, 2020 / OFEN, Perspectives énergétiques 2050+, novembre 2020.

3. Guide pratique

Vade-Mecum du projet énergétique



Se lancer dans le projet de rénovation énergétique d'une demeure historique demande à être bien accompagné. Il n'est pas possible d'aborder ce type d'intervention uniquement sous l'angle de l'analyse énergétique, comme cela est bien souvent le cas. Les maisons anciennes, complexes et toujours uniques, nécessitent une approche fine, pluridisciplinaire, spécifique à l'objet et à sa situation, et ce très en amont de toute intervention.

Dans ce sens, la personne à mandater en premier lieu est un architecte aux compétences reconnues en matière patrimoniale. En tant que mandataire «généraliste», son rôle est celui-ci d'un chef d'orchestre, à même de faire dialoguer tous les acteurs, instances et spécialistes impliqués: autorités com-

munes et cantonales en charge du patrimoine et de l'énergie, ingénieurs et prestataires de services (bureaux d'études, cabinets d'audit), entreprises de construction spécialisées, organismes de financement, etc.

Il établira avec et pour son mandant un projet global tenant compte des besoins et envies des occupants, des possibilités et des limites du bâtiment lui-même – souvent négligées – sans oublier le cadre budgétaire, tous éléments déterminants pour la faisabilité du projet. La pondération de ces différentes contraintes est indispensable à un projet cohérent et de qualité, surtout dans le contexte sensible du patrimoine bâti.

Si toutefois l'on souhaitait donner un ordre général pour les interventions

qui découlent de cette phase d'analyse et de planification, on pourrait tenter de les hiérarchiser comme suit, en priorisant celles dont l'impact constructif, architectural et financier est le moindre et le bénéfice environnemental évident, pour aborder ensuite seulement les interventions plus sensibles:

- réduire la consommation énergétique à l'interne (sobriété énergétique)
- opter pour une production de chaleur renouvelable
- limiter les déperditions thermiques par l'enveloppe (efficacité énergétique)

Ce dernier point sera lui-même détaillé plus avant dans la section «économies de chaleur». ¹

¹ Nous renvoyons aussi à la *Méthodologie d'intervention* publiée par la Commission des monuments, de la nature et des sites du Canton de Genève, qui présente les priorités dans un ordre comparable (cf. bibliographie).

DE QUELLE ÉNERGIE PARLE-T-ON ?

■ Énergie d'exploitation, énergie grise

L'énergie d'exploitation désigne l'énergie nécessaire au fonctionnement du bâtiment et au confort de ses usagers. Celle-ci se décline principalement sous la forme d'énergie thermique (chauffage) et d'énergie électrique (éclairage, ventilation, appareils ménagers etc). L'énergie d'exploitation est une notion assez tangible, voire visible. L'unité de mesure en est le **kilowattheure (kWh)**, qui correspond à la consommation d'un appareil d'une puissance de 1000 watts (p.ex. un spot de chantier) pendant une heure.

L'énergie grise est une notion plus complexe à appréhender: elle correspond à l'énergie «cachée» dans un matériau ou un produit, nécessaire à sa production, son transport, sa mise en œuvre et à son élimination en fin de vie. En outre, cette valeur dépend intimement du type d'énergie utilisée et de son impact sur l'environnement. Afin que les comparaisons entre différents matériaux ou produits soient possibles, l'énergie grise est donc exprimée en **kWh d'énergie primaire**² non renouvelable (voir ci-dessous). Il est à souligner que les agents énergétiques eux-mêmes, tels que le charbon, le pétrole ou le bois contiennent aussi de l'énergie grise, puisqu'ils sont extraits, transformés et transportés avant d'être utilisés.³

Lors d'une intervention sur un bâtiment existant, la question de l'énergie grise est d'une portée limitée, sauf en cas de rénovations lourdes impliquant la mise en œuvre de quantités importantes de matériaux. En outre, le patrimoine bâti, *a fortiori* celui d'avant l'ère préindustrielle, est intrinsèquement bon élève en la matière: construit avant même que l'usage d'énergies non renouvelables ne se généralise, son énergie grise est négligeable.

La présente contribution se concentrera donc essentiellement sur la question de l'énergie d'exploitation des bâtiments – chaleur et électricité – avec un accent principal mis sur les économies de chaleur.

■ Énergies renouvelables et émissions de CO₂

Une énergie est dite **renouvelable** lorsqu'elle est produite par des phénomènes naturels réputés inépuisables, ou dont les cycles de renouvellement sont relativement courts. À ce titre, on considère le rayonnement solaire (pour la production de chaleur ou d'électricité photovoltaïque), le vent (énergie éolienne), l'eau (énergie hydraulique), la biomasse (biogaz et de bois de chauffage) et la géothermie. La valorisation thermique des déchets entre en partie aussi dans cette catégorie.

Outre leur caractère non-fini, l'intérêt des énergies renouvelables est de n'émettre que **peu de CO₂**, puisqu'elles ne se basent pas sur des phénomènes de combustion. La biomasse fait exception à cette règle, mais pour autant que son cycle de reconstitution soit assuré (en particulier la croissance des forêts), le CO₂ émis est en principe recapturé par photosynthèse.

À l'inverse, une énergie est considérée comme **non renouvelable** lorsqu'elle est extraite de ressources finies, essentiellement des combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz) ou nucléaires (uranium).

La principale caractéristique des énergies non renouvelables est d'émettre des **quantités importantes de CO₂** et partant, de contribuer de manière prépondérante au dérèglement climatique.

L'énergie nucléaire est quant à elle réputée *non renouvelable mais décarbonée*, statut ambivalent qui alimente largement le débat concernant son réel impact environnemental.

Pour résumer: la consommation d'énergie est fortement corrélée à l'émission de gaz à effets de serre, surtout s'agissant des énergies non renouvelables.

² L'énergie primaire désigne une ressource énergétique non transformée soustraite au milieu naturel. L'énergie secondaire est une énergie transformée. L'énergie finale, enfin, est l'énergie effectivement livrée au consommateur à l'entrée de son bâtiment (chauffage, électricité). Chaque étape de transformation induit des pertes qui peuvent être conséquentes. Ainsi, à une consommation d'énergie finale correspond toujours une consommation d'énergie primaire bien plus importante.

³ Deux exemples pour 1 kWh de chaleur utile: mazout – 1.30 kWh d'énergie grise; bois de chauffage – 0.30 kWh d'énergie grise. (source: *Données des écobilans dans la construction, KBOB 2022*).

LE BILAN THERMIQUE

Un projet d'assainissement énergétique débute par une phase d'analyse et de diagnostic; le bilan thermique en fait partie. Il vise à définir :

- les besoins effectifs de chaleur (chauffage et eau chaude sanitaire)
- les pertes liées à l'enveloppe du bâtiment et au renouvellement d'air (ventilation)
- les gains internes dus au rayonnement solaire, aux occupants ou aux installations techniques

Dans certains cas, les gains internes peuvent constituer un apport non négligeable au bilan thermique (voir l'exemple du château d'Hauteville) et délester le bâtiment de mesures d'isolation contraignantes.

Ces valeurs – besoins, pertes et gains – sont annualisées et rapportées à la surface chauffée, dite **surface de référence énergétique (SRE)**, qui comprend tous les locaux réputés chauffés situés à l'intérieur du périmètre de l'enveloppe thermique. Voici quelques valeurs de consommation énergétique typiques de bâtiments selon leur époque de construction⁴, exprimées en kWh d'énergie finale par m² et par an :

- 1920-1970 250-200 kWh/m²/an
- 1990-2000 150-100 kWh/m²/an
- après 2010 ~ 60 kWh/m²/an (Minergie)
- maison passive ~ 40 kWh/m²/an (Minergie-P)

La stratégie énergétique suisse vise grosso modo à ramener l'entier du parc bâti à des consommations de l'ordre de 60 kWh/m²/an⁵, correspondant de fait au standard Minergie.

Il faut préciser que ce type d'approche correspond à ce que la norme SIA 380/1 appelle la **justification globale**; elle est particulièrement intéressante dans le cas d'assainissements énergétiques complets, en ce qu'elle permet notamment de compenser certains éléments d'enveloppe faiblement isolés (p.ex. les façades) par une isolation supplémentaire sur d'autres (p.ex. le plancher des combles); ceci permet de pondérer les interventions en fonction de leur efficacité, de leur impact architectural, de leur faisabilité et de leur coût. Elle est donc à préconiser en contexte patrimonial.

Il existe une autre méthode, dite **justification par performances ponctuelles**, qui prescrit des valeurs d'isolation aux seuls éléments touchés par le projet de rénovation (p.ex. la toiture, lorsque les combles sont rendus habitables). Ces performances sont alors exprimées par le biais de la valeur U ou *coefficient de transmission thermique* (voir infra, section «économies de chaleur»). Cette méthode est à la fois plus simple et plus contraignante, en ce que les valeurs limite ne peuvent en principe pas être contournées.

Les **audits énergétiques** de type CECB (certificat énergétique cantonal des bâtiments) utilisent la justification globale pour décerner une «étiquette énergétique», qui tient aussi compte du type de production de chaleur (combustibles fossiles ou énergies renouvelables). Le CECB Plus, quant à lui, inclut des scénarios de rénovation, avec des recommandations pour le type d'isolation, le choix des installations techniques et une planification globale des travaux. Bien qu'il s'agisse d'un outil de diagnostic précis et efficace, il ne constitue ni ne remplace jamais un projet architectural global.

⁴ Il n'existe pas de données spécifiques concernant le patrimoine bâti avant l'ère industrielle, auxquels la présente publication est avant tout destinée. (sources: OFS / OFEN / energie-environnement.ch)

⁵ Il ne s'agit que d'une valeur indicative: les besoins de chaleur des bâtiments doivent être calculés au cas par cas. Ils peuvent varier fortement, car ils dépendent entre autres du facteur de forme (surface de l'enveloppe thermique rapportée à la surface de plancher chauffée ou SRE) mais aussi des conditions climatiques locales (en particulier l'altitude).

Sobriété et mitigation



Les économies d'énergie les plus simples à réaliser consistent en premier lieu à ne pas chauffer certains locaux, à les chauffer moins ou uniquement de manière ponctuelle. Ainsi, le ratio de consommation de chaleur rapporté à la surface chauffée diminue *de facto*. Cette mesure de bon sens a le grand avantage de ne rien coûter et de n'avoir aucun impact en matière de conservation patrimoniale.

Pour évidente qu'elle paraisse, elle se heurte cependant à certains écueils. Il faut que la taille et l'organisation intérieure du logement concerné soient adaptées, de façon à assurer le confort de ses habitants dans les zones chauffées de manière continue, tout en offrant

des espaces tampons supplémentaires qui peuvent être occupés de manière saisonnière (à l'exemple d'une véranda) ou ponctuelle (cage d'escalier, couloirs).

Cela est d'autant plus vrai lorsque le logement en question est loué à des tiers: cette stratégie est difficile à mettre en place au regard du droit du bail, qui prescrit des températures minimales et la constance du chauffage, faute de quoi les locataires pourraient invoquer un défaut de la chose louée. En tous les cas, ce scénario présuppose l'acceptation d'un certain degré d'inconfort. Il ne peut s'appliquer que si les occupants sont personnellement convaincus par le sens de la démarche.

C'est pour l'heure un levier d'action dont la portée est limitée. Il y a toutefois fort à parier que de prochains développements techniques permettront une régulation plus fine de la chaleur que les actuelles vannes thermostatiques, au vu des économies considérables qui pourraient en résulter (p.ex: vannes «intelligentes» ne chauffant que les pièces effectivement occupées). ■

CAUX PALACE : LA SOBRIÉTÉ CHOISIE

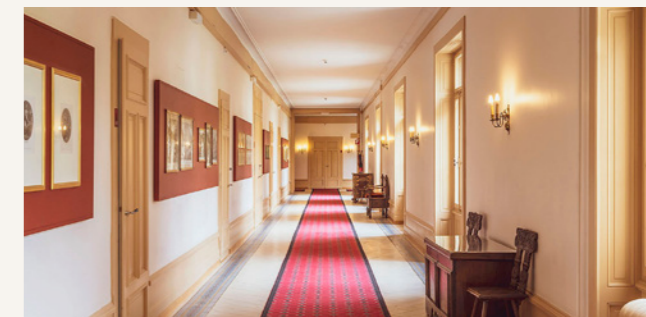
Construit en 1902, le Caux Palace est l'un des plus grands et des plus luxueux hôtels de la Belle Epoque, surplombant le Léman depuis les hauteurs de Montreux. Acquis par une fondation philanthropique au sortir de la guerre, il a été reconverti en centre de formation et de séminaires dédiés à la paix, à l'économie équitable et au développement durable. Il fait l'objet depuis 15 ans d'une rénovation énergétique douce, en adéquation avec sa valeur patrimoniale exceptionnelle comme avec les missions de l'organisation.

Les principaux changements consistent en :

- l'abandon du mazout, remplacé par une centrale de chauffage aux plaquettes forestières
- l'isolation des 1500 m² de toitures plates, bientôt équipées de panneaux solaires invisibles au sol

De par le statut de protection du bâtiment, il n'y a aucune isolation en façade. Les mesures constructives précitées sont couplées à un ambitieux programme de sobriété énergétique basé sur :

- le renoncement au chauffage dans certaines zones, à l'exemple des couloirs et escaliers
- la limitation de la période de chauffe – à l'entre-saison, les chambres sont en priorité pourvues de couvertures supplémentaires



- le recours à des vannes thermostatiques performantes, à une régulation fine, à des limiteurs de débit sur l'eau chaude sanitaire et à des récupérateurs de chaleur (en cuisine et buanderie)
- l'amélioration du jointoyage des portes et fenêtres
- celles-ci sont encore pourvues des simples vitrages d'origine et leur valeur patrimoniale exclut toute rénovation lourde
- une campagne suivie d'information et de sensibilisation auprès des occupants

Mises bout à bout, ces actions d'apparence modeste ont un réel impact. Il faut dire qu'avec les 200 chambres, près de 1000 fenêtres et plus d'un kilomètre de couloirs du bâtiment, les petits effets sont démultipliés de manière tangible.

(Source : AEnEC 6/2019, photo Adrien Giovannelli / lofC)

Production de chaleur



Le plus important des choix à prendre est sans doute d'opter pour une production de chaleur renouvelable. Il ne s'agit pas – *stricto sensu* – d'une économie d'énergie; il n'en résulte souvent aucune économie de coûts non plus. Cette mesure possède avant tout un intérêt environnemental, puisqu'elle réduit significativement les émissions de gaz à effet de serre. D'autre part, ses conséquences architecturales sont limitées et ne portent d'habitude que sur des installations techniques, habituellement situées dans des locaux de moindre valeur. En ce sens, le rapport entre les bénéfices environnementaux et leur coût patrimonial est souvent excellent. Nous examinerons ci-après différents modes de production de chaleur renouvelable.

CHAUFFAGES À BOIS

Il existe trois grandes familles de chauffage au bois: les **chaudières à bûches**, celles au **bois déchiqueté (plaquettes)** et celles aux **granulés de bois (pellets)**. La production peut être centralisée – elle nécessite alors des installations de diffusion de chaleur – ou décentralisée, avec des poêles qui servent à la fois à la production et à la

diffusion de chaleur, installés directement dans les locaux qu'ils chauffent.

■ Bois en bûches

Le bois en bûches est la source d'énergie la moins transformée et la plus économique. Il est intéressant à utiliser lorsqu'il provient de la région ou mieux encore, des forêts du propriétaire. Les bûches doivent être sèches; cela implique des espaces de préparation et de stockage potentiellement conséquents. L'alimentation de la chaudière est une autre contrainte de taille: elle ne peut être que manuelle, et ce une fois par jour au moins. Enfin, vu que la production de chaleur est intermittente, elle requiert l'installation d'un accumulateur (ballon d'eau chaude) afin d'uniformiser la distribution de chaleur. Cette solution est essentiellement mise en œuvre dans les domaines agricoles disposant de leur propre bois, et pour lesquels les contraintes liées à la manutention peuvent s'intégrer dans l'exploitation courante.

■ Bois déchiqueté (plaquettes)

Le bois déchiqueté est un bois vert, directement issu de l'exploitation forestière. L'entier de l'arbre – tronc et branches – est utilisé, ce qui en fait

aussi un combustible économique. En revanche, le pouvoir calorifique de ce bois en vrac est limité et il demande un important volume de stockage. Il est surtout mis en œuvre dans des installations de grande capacité (bâtiments ou domaines étendus, chauffage à distance). L'alimentation de la chaudière est automatique mais ici encore, la flambée est intermittente et demande un accumulateur d'eau chaude pour lisser les températures de service. L'intérêt de cette filière est d'exploiter le bois en circuits très courts, quasiment à la source.

■ Granulés de bois (pellets)

Les granulés sont l'agent énergétique issu du bois le plus transformé. Ils sont produits à partir de résidus industriels (scieries, ateliers de charpente et menuiserie), réduits en une poudre qui est ensuite compressée en bâtonnets cylindriques de petit format. Ces granulés de bois sec et dense ont un haut pouvoir calorifique, se transportent et se stockent aisément, et permettent une alimentation continue et totalement automatique de la chaudière. De ce point de vue, leur souplesse d'utilisation les rapproche quasiment des combustibles fossiles liquides ou gazeux. Enfin, avec les dispositifs de

■ Volumes de stockage

Nous donnons ci-après quelques volumes et poids de stockage approximatifs, ainsi que le pouvoir calorifique moyen de différents agents énergétiques issus du bois, comparativement au mazout.

Besoins pour une maison individuelle¹

	volume	poids	pouvoir calorifique moyen	
• mazout	2 m ³	1.7 tonnes	1lt de mazout	10 kWh
• pellets	6 m ³	4.0 tonnes	1kg de pellets	5 kWh
• bûches	12 m ³	5.0 tonnes	1kg de bûches	4 kWh
• plaquettes	24 m ³	6.5 tonnes	1kg de plaquettes	3 kWh

Logiquement, la taille du stock est inversement proportionnelle au pouvoir calorifique. Elle peut avoir une incidence sur un projet de rénovation: en optant pour l'un ou l'autre des agents énergétiques issus du bois, l'autonomie baisse et les livraisons de combustible peuvent devenir contraignantes.

¹ d'une surface d'environ 200 m² et de construction récente, ce qui correspond à des besoins de chaleur d'environ 20'000kWh (source: energiebois.ch)

combustion modernes et efficaces, ils ne produisent que très peu de cendres, ce qui induit un faible niveau d'entretien. À titre indicatif, une chaudière à pellets doit être vidée et nettoyée environ 4 à 6 fois par an.

Comme les pellets peuvent être facilement transportés, il convient de s'assurer de leur lieu de provenance et d'opter pour une production à l'échelle régionale ou nationale, faute de quoi leur bénéfice environnemental est amoindri.

Enfin, il existe un autre format de pressage des granulés de bois: les briquettes, dont la taille s'apparente à celle d'une bûche. Celles-ci sont produites

selon le même procédé de compression que les pellets et offrent également un pouvoir calorifique élevé. En revanche, à l'instar du bois en bûches, elles demandent une alimentation manuelle de la chaudière. Ce système est relativement rare, à tout le moins en Suisse.

POMPES À CHALEUR (PAC)

Les pompes à chaleur sont des installations qui extraient la chaleur du milieu ambiant, à l'aide d'un mécanisme de compression-détente de gaz similaire à celui d'un réfrigérateur. À la différence de ce dernier, elles rejettent le froid dans le milieu ambiant et restituent la chaleur à

l'intérieur du bâtiment. Les PAC fonctionnent à l'aide d'un compresseur électrique; leur rendement est intimement lié à la source de chaleur extérieure, qui peut être l'air, l'eau ou le sol. Il dépend également de la différence de température entre la source de chaleur et la température de service des installations de distribution; plus cette différence est faible, meilleur est le rendement. Celui-ci est exprimé par le **coefficient de performance (COP)** qui est le ratio entre la chaleur produite et l'énergie électrique consommée. Ainsi, une pompe à chaleur avec un COP de 3.0 produit 3 kWh de chaleur pour une consommation électrique d'1 kWh; elle livre pour ainsi dire gratuitement 2 kWh supplémentaires. Il faut indiquer que la consommation électrique d'une PAC est loin d'être négligeable et que les coûts de fonctionnement qui en résultent non plus.

Le COP ne devrait en principe pas chuter en-dessous de 3.0, faute de quoi le bénéfice environnemental devient faible, et le coût trop élevé, du moins si l'on prélève le courant du réseau.² À ce titre, les pompes à chaleur sont particulièrement intéressantes lorsqu'elles sont couplées avec une production d'électricité renouvelable autoconsommée sur place, typiquement au moyen de panneaux solaires.³

L'intérêt des pompes à chaleur est aussi que leur fonctionnement peut être inversé pour produire du froid en été; ces installations nécessitent cependant une autorisation avec

² Si l'on reprend l'exemple précédent d'une maison individuelle avec des besoins de chaleur de 20'000 kWh, la consommation électrique d'une pompe à chaleur avec un COP de 3.0 tourne autour de 7000 kWh. La facture annuelle en électricité se monterait à environ 1400.– francs, alors que l'énergie équivalente en mazout coûterait 1800.– (état moyen des coûts de l'énergie en 2021: électricité environ 20 ct / kWh; mazout env. 90 ct / 1 lt = 10 kWh).

³ Pour 1 kWh d'énergie finale: électricité du réseau – 2.00 kWh d'énergie grise; électricité photovoltaïque produite sur place – 0.15 kWh d'énergie grise. (Source: Données des écobilans dans la construction, KBOB 2022)

justification des besoins. Enfin, elles permettent dans certains cas d'injecter de la chaleur estivale dans un stock saisonnier (typiquement dans le sol) qui sera alors ré-exploité en hiver.⁴

■ *Chaleur prélevée dans l'air*

Le modèle le plus basique est la PAC **air/air**⁵, qui puise sa chaleur dans l'air extérieur et pulse de l'air chaud à l'intérieur. Son rendement est faible, d'une part parce que l'air est un piètre fluide caloripporteur, d'autre part parce que la différence de température entre la source d'énergie et la chaleur produite est importante: en plein hiver, l'air extérieur peut atteindre des températures négatives alors que précisément les besoins en chaleur à l'intérieur sont importants. Son COP, qui est de l'ordre de 2.0 à 3.0 en moyenne annuelle, peut alors descendre à 1.5 voire tendre vers 1.0, ce qui revient à en faire un chauffage électrique direct (1 kWh d'électricité consommé pour 1 kWh de chaleur produite). Leur avantage réside dans le fait que l'air extérieur est une ressource réputée inépuisable et que son exploitation ne nécessite en principe pas d'autorisation.

Les PAC **air/eau** présentent les mêmes caractéristiques que le modèle air/air, avec un rendement (COP) légèrement meilleur.

■ *Chaleur prélevée dans le sol*

Les PAC **sol/eau** ou géothermiques exploitent la chaleur du terrain. À partir de 10 m de profondeur, la température du sol est stable toute l'année; cette température augmente en outre d'environ 3 degrés tous les 100 m.

L'extraction de la chaleur peut se faire au moyen d'un réseau de serpentins horizontaux enfouis à 1-1.5 m de profondeur (registre terrestre); il faut alors disposer d'une surface relativement importante. L'autre possibilité réside en des forages à grande profondeur (100-300 m), dits sondes géothermiques. Leur rendement est excellent mais les coûts d'installation sont relativement élevés. C'est aujourd'hui le système le plus répandu, du fait de son faible encombrement. Il existe également des installations de moyenne profondeur (2-5 m) intégrées aux travaux de fondations: pieux énergétiques, parois moulées, puits ou corbeilles géothermiques. Par nature, celles-ci sont plutôt réservées aux constructions neuves.

Le COP d'une pompe à chaleur sol/eau est d'environ 4.0 en moyenne annuelle.

■ *Chaleur prélevée dans l'eau*

La dernière source de chaleur environnementale réside dans l'exploitation des eaux, que celles-ci soient souterraines (nappe phréatique), de surface (lac ou rivière) ou des eaux usées. Les eaux souterraines présentent à l'évidence une source de chaleur stable et constante tout au long de l'année; les eaux de surfaces sont soumises aux conditions météorologiques. Les PAC **eau/eau** présentent le meilleur rendement, avec des COP supérieurs à 4.5. Elles sont toutefois rarement mises en œuvre auprès de privés, mais souvent réservées à de grandes installations (p.ex. campus universitaire de Lausanne, puisant l'eau du Léman en profondeur).

■ *Autres sources de chaleur*

Les réseaux de chauffage à distance (CAD) constituent aussi une bonne solution. Ils sont mis en place par de nombreuses collectivités publiques. Les communes rurales trouvent ainsi des débouchés pour le bois de leurs forêts, brûlé sous forme de plaquettes dans des installations performantes. Les communautés urbaines peuvent tirer parti de la valorisation thermique des déchets ou d'autres rejets industriels. En tous les cas, il s'agit d'énergies dont le caractère renouvelable est reconnu.

Le cas du **biogaz** est plus équivoque. Bien qu'issu de la valorisation de déchets (agricoles et ménagers), le caractère renouvelable de cet agent énergétique n'est pas reconnu par tous les cantons. Il offre pourtant une alternative intéressante au gaz naturel, qui est un hydrocarbure éminemment non renouvelable. En tout état de cause, c'est un marché aux dimensions confidentielles, les fournisseurs sont rares et les prix très élevés, malgré la provenance locale de cette ressource. Gageons qu'il se développera à l'avenir.

■ *Températures de service*

Les températures obtenues par combustion (bois, CAD, biogaz) sont relativement élevées – de l'ordre de 50 à 70 degrés dans le circuit hydraulique. Elles permettent de produire de l'eau chaude sanitaire et d'alimenter tous les types de distribution: radiateurs et convecteurs, chauffage au sol, voire air pulsé.

À l'inverse, les pompes à chaleur sont efficaces lorsque les températures

de service sont relativement basses (de l'ordre de 30 à 35 degrés dans la distribution hydraulique), ce qui les destine prioritairement au chauffage au sol. La production d'eau chaude sanitaire ou l'alimentation de radiateurs est possible, mais engendre une nette baisse du rendement.

DISTRIBUTION DE CHALEUR

Comme précédemment indiqué, la majorité des chauffages centraux existants sont couplés à une distribution hydraulique et assurent la diffusion de la chaleur par le biais de **radiateurs**. Il s'agit d'un système simple et éprouvé, qui mérite souvent d'être maintenu même lorsque la production de chaleur est remplacée. À leur crédit, les radiateurs offrent une grande efficacité relativement à leur faible encombrement et un temps de réaction court par rapport aux fluctuations de la température extérieure. Ils sont facilement accessibles pour d'éventuelles réparations et ne nécessitent que très peu d'entretien. La durée de vie d'un radiateur en fonte atteint facilement une centaine d'années.

L'autre grande famille de distribution hydraulique est le **chauffage au sol**. De par sa température de service plus basse, il nécessite une plus grande surface de diffusion (en principe, l'entier de la pièce concernée). En outre, son installation nécessite la dépose complète du sol pour la pose des serpentins, ce qui n'est pas toujours envisageable dans un contexte patrimonial, et ne s'accorde pas

avec tous les types de revêtements. Suivant leur épaisseur, les planchers massifs en bois ont par exemple une capacité isolante qui peut contrecarrer la diffusion de chaleur. L'inertie du chauffage au sol est grande et sa mise en température lente, tout à l'inverse des radiateurs. Son invisibilité constitue son plus grand atout, comme sa plus grande faiblesse: une exécution impeccable des travaux est nécessaire pour se prémunir de fuites qui peuvent induire des dégâts conséquents.

Il faut signaler que le même type de serpentins peuvent être intégrés aux parois, voire aux plafonds. Le chauffage au sol, les parois chauffantes et les plafonds actifs sont tous d'un développement relativement récent, entraîné en particulier par l'engouement pour les pompes à chaleur, avec lesquelles ils se combinent idéalement au point de vue technique.

Last but not least, la diffusion de chaleur peut se faire au lieu-même de sa production, sans circuit hydraulique: son représentant par excellence est le **poêle à bois**, fonctionnant par convection ou par rayonnement. Ce dernier, appelé aussi poêle de masse, est traditionnellement connu en Suisse comme poêle maçonné, *poêle à catelles*, ou *pièce ollaire* dans les Alpes du sud.¹ Leur rendement est excellent: une flambée de quelques heures diffusera la chaleur durant toute une journée, contrairement aux poêles sans inertie (p.ex. en fonte), qui diffusent la chaleur instantanément et nécessitent donc un ravitaillement régulier.

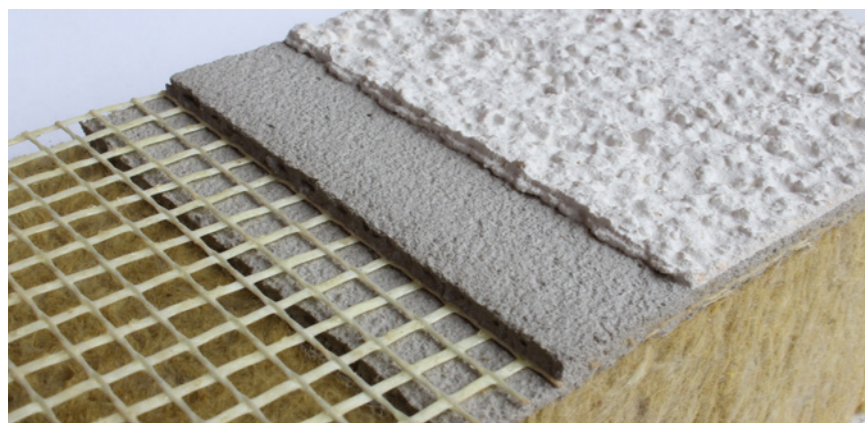
Les poêles à bois peuvent être alimentés de façon manuelle, ou désormais aussi de manière automatique grâce aux pellets. Bien que leur emploi soit contraignant, ils connaissent aujourd'hui un regain d'intérêt, porté par les préoccupations écologiques et un certain désir de simplicité et d'authenticité. Dans les maisons anciennes qui en sont souvent pourvues, leur apport au projet énergétique moderne gagnerait à être pris en considération (voir l'encadré sur la maison de Matten, plus loin). ■

⁴ Voir l'exemple de Latsch aux Grisons (cf. réalisations exemplaires).

⁵ Le premier terme désigne le milieu extérieur dans lequel la chaleur est prélevée; le deuxième, le fluide caloripporteur intérieur.

¹ cf. bulletin Domus no 61 (5/2015), entièrement consacré aux poêles historiques

Économies de chaleur



Nous abordons ci-après les économies d'énergie d'exploitation proprement dites. Celles-ci consistent à limiter les déperditions de chaleur par rayonnement de l'enveloppe (augmentation de la valeur isolante des murs ou des baies) ou par renouvellement d'air (étanchéification des mêmes). Par nature, l'incidence constructive et architecturale de ces mesures est importante. En outre, tant l'isolation que l'étanchéification de l'enveloppe sont **indissociables de la physique du bâtiment**, en particulier concernant l'hygrométrie intérieure des locaux, la diffusion de vapeur et les questions de condensation. Modifier des équilibres hygrothermiques établis de longue date comporte toujours des risques et chaque situation mérite une étude spécifique et une pesée des intérêts en jeu.

Pour ce faire, il est indispensable de s'entourer d'une équipe de mandataires qualifiés comportant *a minima* un spécialiste en thermique et en physique du bâtiment. Il en va de la salubrité et de la durée de vie des bâtiments concernés.

MATÉRIAUX ISOLANTS ADAPTÉS AUX BÂTIMENTS ANCIENS

Il existe un très vaste panel de matériaux isolants qui placent bien souvent architectes et maîtres d'ouvrage devant des choix difficiles.

Nous excluons d'entrée les isolants synthétiques tels que le polystyrène expansé (EPS, également connu sous la dénomination commerciale Sagex), le polystyrène extrudé (XPS) et le polyuréthane (PU). D'une part, ceux-ci sont issus de la chimie du pétrole et de ce point de vue, leur contribution réelle à la transition post-carbone fait débat. D'autre part, ils sont assez généralement décriés par les milieux patrimoniaux, estimant que ces matières manquent des qualités sensorielles nécessaires à leur intégration dans le bâti ancien, caractérisé par l'usage de matériaux naturels, réputés plus «nobles» ou «authentiques». Malgré cela, leur faible coût et leurs réelles performances isolantes en font une option qui a souvent la faveur des entreprises.

Nous nous concentrerons sur les isolants «classiques» à composition

minérale, ainsi que sur les nouveaux matériaux biosourcés dont l'expansion est portée par des considérations environnementales, tels que la fibre de bois, la ouate de cellulose, le chanvre, le liège, le lin et la laine de mouton.

Une pratique répandue voudrait que les structures minérales (maçonneries) soient isolées à l'aide de matières minérales, tandis que les structures ligneuses (charpentes) devraient être pourvues de fibres végétales, garantissant une forme de continuité matérielle entre elles. Il n'y a pas de consensus scientifique en ce sens et chaque situation mérite une réponse spécifique.

■ Doublages en dur

Les matériaux dits de doublage sont auto-portants et peuvent être montés sans structure de soutien. Il s'agit principalement de matériaux tels que les **briques isolantes** en terre cuite, pourvues d'alvéoles remplies d'air ou de laine de verre, le **béton cellulaire**, un matériau poreux et mi-dense, et des panneaux de verre cellulaire, à pores fermés. Leur capacité isolante est légèrement moindre que celle de matériaux légers, mais leur plus grande résistance mécanique est souvent mise

à profit pour assainir des maçonneries classiques, typiquement en présence de risques liés à l'humidité.

■ Matelas et panneaux de fibres

Les panneaux en fibre ont connu un développement important depuis la deuxième moitié du XX^e siècle. Il s'agit de matériaux minéraux tels que la **fibre de verre** et la laine de pierre, mais aussi de matières végétales (**fibre de bois**, laine de chanvre, de lin, etc.) ou animales (la **laine de mouton** fait une percée remarquable dans ce domaine). Suivant leur densité, ils sont conditionnés soit en matelas souples, soit en panneaux semi-rigides, essentiellement comme sous-couvertures en toiture et comme panneaux à crépir en façade. Ils ne sont en principe pas auto-portants et nécessitent une ossature de soutien en bois ou en profilés métalliques minces.

■ Matériaux insufflés (flocages)

Les matériaux de flocage comptent principalement la **ouate de cellulose**, issue du déchiquetage de papier recyclé. Avec les fibres végétales, c'est l'un des isolants les moins transformés et donc les plus performants en termes environnementaux (faible énergie grise). En outre, il est particulièrement adapté pour isoler les charpentes anciennes, dont la géométrie peut être complexe et irrégulière, en ce qu'il est insufflé dans les interstices et non découpé comme les isolants en fibres. Ce matériau n'ayant aucune tenue en soi, il est toujours contenu dans un caisson ou un doublage qui peut être préexistant (par exemple l'interstice entre les solives d'un plancher) ou créé à neuf.

■ Matériaux en vrac

Il existe différents matériaux en vrac, d'origine végétale tels que les **granulés de liège** et la fibre de chanvre ou de composition purement minérale tels que les **granulats de verre cellulaire**, la perlite, la vermiculite et l'argile expansée. Les granulométries courantes vont *grosso modo* de 5 à 50 mm. Ils sont typiquement adaptés à l'isolation des sols contre le terrain et servent également d'agrégats pour la réalisation de mortiers isolants. Les billes de polystyrène ont le même usage mais nous les excluons volontairement comme indiqué ci-dessus.

■ Enduits isolants

Les enduits isolants se réalisent avec le même type d'agrégats en vrac précédemment évoqués, dans une granulométrie simplement plus fine. S'agissant de matériaux composites mi-isolants, mi-rigides, leur valeur lambda est environ 1,5 fois plus élevée qu'un isolant classique (**0.06** au lieu de 0.04) et leur résistance mécanique est amoindrie par rapport à un crépi usuel. Il faut en tenir compte lors de la mise en œuvre, qui n'est pas possible ni souhaitable partout.

■ Aérogels de silice

Les aérogels sont des matériaux à ultra-haute performance isolante, composés d'air enclos dans une micro-matrice de silice ; il s'agit donc de composites dont la fraction solide est d'origine minérale. Originellement développés pour des applications très spécifiques, telles que la recherche spatiale, les aérogels commencent désormais à trouver des débouchés commerciaux dans le marché de la construction. Ils peuvent être

utilisés comme agrégats dans des crépis ultra-isolants ou, en combinaison avec des fibres de structure, dans des matelas souples ou panneaux rigides de mise en œuvre classique. Leur très faible conductivité thermique (la valeur lambda tourne autour de **0.02**, soit deux fois moins que les isolants usuels, et trois fois moins que les crépis isolants standard) permet de les utiliser, à performance égale, en couches beaucoup plus minces. Leur prix reste élevé à ce jour, mais il est probable que l'accroissement de la demande ira de pair avec une baisse des coûts.

ISOLATION DE L'ENVELOPPE : POSSIBILITÉS ET LIMITES

Tout projet d'assainissement énergétique nécessite, comme précédemment souligné, l'établissement d'un bilan thermique détaillé et d'une stratégie d'intervention structurée, qui visera à pondérer les enjeux énergétiques, architecturaux et financiers et à intervenir au bon endroit avec les bons moyens. Toutefois, l'ordre général des priorités pour l'isolation des bâtiments patrimoniaux pourrait se dégager comme suit, en commençant par les interventions de moindre impact architectural et de plus grande efficacité¹ :

- isoler le plancher des combles
- isoler les planchers contre le sol ou le sous-sol
- si les combles sont chauffés, isoler la toiture²
- isoler les fenêtres
- isoler les façades (en dernier recours)

¹ Voir aussi la *Méthodologie d'intervention* de la CMNS, précédemment citée.

² Il peut être pertinent d'aller au-delà des valeurs seuil préconisées, ce qui permet de soulager d'autres éléments où les interventions sont plus délicates (façades, fenêtres).

NOTIONS UTILES EN PHYSIQUE DU BÂTIMENT

■ Valeur lambda (λ) et valeur U

Deux valeurs sont particulièrement importantes lorsque l'on aborde les questions d'isolation:

La **valeur lambda** (λ) désigne la conductivité thermique d'un **matériau**; elle s'exprime en watts par mètre et par degré kelvin (W/mK). C'est une valeur physique intrinsèque, donnée *in abstracto*, sans tenir compte de l'épaisseur effective du matériau. Plus cette valeur est petite, plus celui-ci est réputé isolant. Pour illustration, nous donnons ci-dessous quelques valeurs indicatives de produits de construction courants:

• bois	0.15	W/mK
• brique TC	0.30	W/mK
• béton	2.00	W/mK
• pierre dure	3.00	W/mK
• isolants	0.04	W/mK (isolants légers usuels tels que fibre de bois, laine de verre, etc.)
• aérogels	0.02	W/mK

Dans les grandes lignes, plus le matériau est léger et contient d'air inclus, plus il est isolant. À l'inverse, les matières denses sont de piètres isolants. Le bois est par exemple assez performant à lui seul (il n'est que 3 fois moins efficace qu'un matériau isolant *stricto sensu*), contrairement au béton (50 fois moins efficace qu'un isolant).

Si l'on veut caractériser la performance d'un **élément d'enveloppe**, on utilise la **valeur U** ou coefficient de transmission thermique, dont l'unité est le watt par mètre carré de surface et par degré de différence de température (W/m²K). Elle caractérise la déperdition thermique d'une surface; à la différence de la valeur lambda, la valeur U tient compte de l'épaisseur effective des matériaux mis en œuvre. Ici aussi, plus la valeur est faible, plus l'élément d'enveloppe est performant.

Il faut souligner que la valeur U est en proportion inverse de l'épaisseur du matériau considéré. En français courant: les premiers centimètres d'isolant sont très efficaces pour faire chuter la valeur U, et plus l'épaisseur s'accroît, moins la valeur U diminue.

Atteindre les standards de performance actuels revient à utiliser autour de 20 cm d'isolant (pour un $\lambda = 0.04$).

■ Voici quelques valeurs U typiques pour des éléments d'enveloppe courants:

bâtiments anciens sans isolation:

• mur en moellons, 60 cm	1.20 W/m ² K
• paroi en madriers, 15 cm	1.00 W/m ² K
• fenêtre simple vitrage, 3 mm	5.00 W/m ² K

valeurs exigées en cas de transformation selon la norme SIA 380/1 (2016):

• éléments opaques (murs ou toit)	0.25 W/m ² K
• fenêtres et portes vitrées	1.00 W/m ² K

Comme on peut le voir, les exigences actuelles sont drastiquement éloignées des performances du bâti ancien – si l'on considère les déperditions thermiques comme seul élément d'analyse: celles-ci sont pratiquement 5 fois plus importantes que ce que prévoit la norme, et ce que permet aujourd'hui la technique (1.20 versus 0.25 W/m²K pour un mur, 5.00 versus 1.00 W/m²K pour une fenêtre).

Il faut aussi tordre le cou à une idée fréquemment relayée: malgré leur grande épaisseur, les murs en moellons n'isolent (vraiment) pas bien.

■ Ponts thermiques et température de surface

Les **ponts thermiques** ou communément «ponts froids» apparaissent là où l'isolation est discontinue, notamment au droit des éléments structurels, des partitions intérieures et des éventuels éléments saillants (balcons, lucarnes). En engendrant des différences de température de surface, ils présentent également un risque accru de condensation et de dégradation des éléments concernés.

La **température de surface** d'un élément d'enveloppe joue aussi un rôle prépondérant dans la sensation de confort. Ainsi, un mur froid ou une baie vitrée mal isolée dans une pièce chauffée à 20 degrés induisent une asymétrie de températures auquel l'être humain est très sensible. Traditionnellement, les tentures ou lambris intérieurs visaient à casser ce désagréable

«rayonnement froid». Les isolants modernes – outre leur rôle premier qui est d'éviter les déperditions de chaleur vers l'extérieur – permettent aussi d'augmenter la température de surface, et donc le confort perçu.

■ Diffusion de vapeur et point de rosée

La **diffusion de vapeur** se produit de l'intérieur vers l'extérieur en climat tempéré. De manière à éviter les problèmes de condensation qui en résultent – et notamment la dégradation des matériaux par action fongique (moisissures et pourrissement) – les complexes isolants comportent des couches relativement étanches à l'intérieur, de plus en plus perméables vers l'extérieur. Enfin, la dernière couche extérieure doit être à la fois étanche à la pluie et ouverte à la diffusion de vapeur (p.ex. sous-couverture en toiture, crépi ou bardage ventilé en façade).

Le **point de rosée** désigne, dans un élément d'enveloppe, l'emplacement auquel la vapeur d'eau se condense. Celui-ci varie sensiblement en fonction de la température de l'air et de l'humidité relative. Les isolations extérieures ont pour effet général de rapprocher le point de rosée de l'extérieur, ce qui peut être bénéfique pour la conservation des structures (typiquement les têtes de poutre des planchers). À l'inverse, les isolations intérieures ou dans le plan des structures (comme dans un chevronnage en toiture) peuvent accroître le risque de condensation.

■ Isolation du plancher des combles

Une isolation du plancher des combles est relativement facile à mettre en œuvre, d'autant plus que les questions de physique du bâtiment sont moins critiques entre locaux chauffés et non chauffés – dont le climat intérieur est relativement stable – qu'entre locaux chauffés et le climat extérieur, soumis aux aléas météorologiques. Bien souvent, l'espace entre solives du plancher des combles peut être mis à profit, par exemple par un remplissage de ouate de cellulose ou des matelas de fibres souples. Certains combles comportent des revêtements de sol d'intérêt (planchers massifs, carreaux de terre cuite), dont il convient d'assurer la conservation, ou à tout le moins une dépose et repose soignée.

■ Isolation des planchers contre le sol ou le sous-sol

Au rez-de-chaussée, il est quelquefois possible d'isoler les planchers assez simplement par-dessous (lorsque ceux-ci donnent sur des caves). Les couvertures voûtées sont bien entendu difficiles à isoler.

Lorsque le rez donne contre terre, l'opération requiert obligatoirement la dépose des revêtements de sol ainsi qu'une excavation partielle, des mesures relativement invasives quant à la substance bâtie, qui ne devraient pas être justifiées uniquement par des motifs d'assainissement énergétique. Souvent d'autres désordres, liés notamment à l'humidité dans les soubassements, rendent de tels travaux nécessaires et il est alors opportun d'en profiter pour isoler.

À part les isolants synthétiques qui sont usuellement mis en œuvre, le verre cellulaire est un matériau de

choix, que ce soit sous la forme de panneaux ou d'agrégats, drainants et insensibles à l'humidité. En tous cas, les isolants en fibres ne sont pas adaptés à ce type d'environnement.

■ Isolation de la toiture

L'isolation d'une toiture n'est pas excessivement complexe à mettre en œuvre, à condition cependant que la géométrie en soit relativement simple. On distingue plusieurs possibilités, selon que l'isolant se place dans l'épaisseur de la structure (entre chevrons) ou à l'extérieur de celle-ci (sur chevrons).

Les **isolations entre chevrons** ont l'avantage de ne pas modifier la géométrie de la toiture. Dans certains cas, elles peuvent même être réalisées de l'intérieur, sans échafaudages ni dépose de la couverture. En revanche, elles sont relativement délicates au regard de la physique du bâtiment: une partie du système porteur (le chevronnage, dans une charpente en bois) se trouve emballé dans le complexe isolant et la diffusion de vapeur vers l'extérieur doit être garantie, faute de quoi le risque de pourrissement est réel. D'autre part, l'étanchéité à l'air peut être difficile autour des éléments qui traversent le plan de l'isolation (p.ex. porteurs principaux de la charpente, massifs de cheminée, etc.) Enfin, ce sont par nature des isolations discontinues qui nécessitent, pour éviter les ponts de froid et les risques de condensation liés, une couche isolante supplémentaire placée à l'intérieur ou à l'extérieur du plan de chevronnage. Dans ce cas, celle-ci peut alors être combinée avec une sous-couverture qui assurera la protection du complexe isolant contre l'eau de pluie.

Les **isolations sur chevrons** ont toutes les qualités mais aussi les défauts inverses: elles nécessitent forcément la dépose et la restitution de la couverture d'origine, ne sont réalisables que moyennant des travaux d'accompagnement importants (échafaudages, réfection des ferblanteries, adaptation des percements en toiture, etc.) et elles modifient la géométrie de la toiture, en lui ajoutant une épaisseur de l'ordre de 20 à 30 cm. En revanche, elles ont le grand mérite d'être continues, donc beaucoup plus faciles à installer et sans grands risques du point de vue de la physique du bâtiment. Dans bien des cas, la surépaisseur qui en résulte peut être atténuée par des détails soignés au niveau des ferblanteries d'égout (chéneau et larmier) ou en mettant à profit le réveillon¹ pour amortir l'épaisseur de l'isolant.

■ **Isolation des façades par l'extérieur**

L'isolation par l'extérieur – ou isolation périphérique – présente des avantages certains: elle n'implique aucune perte de surface utile comme les isolations intérieures, permet d'éviter les ponts de froid au droit des subdivisions intérieures, planchers et murs de refend; elle préserve enfin l'inertie thermique inhérente aux constructions en maçonnerie et utile au confort thermique estival (rafraîchissement passif par «stockage de froid» dans les murs).

Malgré tout, une isolation extérieure n'est de facto pratiquement jamais possible dans les bâtiments à valeur patrimoniale. Les façades présentent des éléments de modénature – encadrements, cordons, tablettes – ou de décor peint qu'il n'est simplement pas

envisageable de faire disparaître sous un emballage, aussi vertueux soit-il. Dans certains cas, l'application de crépis isolants sur les fonds de façade est envisageable, qui malgré leur épaisseur limitée – de l'ordre de 3 cm – permettent un gain appréciable de la valeur isolante des maçonneries, sans atteinte patrimoniale majeure.

Certains bâtiments présentent des élévations sans modénature – annexes rurales ou arrière-cour d'édifices urbains², par exemple – qu'il peut être envisageable d'isoler par l'extérieur. Cette option ne doit jamais être choisie au détriment de la substance historique: les revêtements de façade, qu'il s'agisse de décors à proprement parler ou de simples crépis anciens, forment l'épiderme sensible d'un bâtiment et leur rénovation ne saurait se faire au prix de leur banalisation.

■ **Isolation par l'intérieur**

L'isolation des façades par l'intérieur est elle aussi très délicate à mettre en œuvre. Moins favorable au regard de la physique du bâtiment (difficile gestion des ponts thermiques et de l'étanchéité à l'air, recul du point de rosée vers l'intérieur, perte de l'inertie thermique de l'enveloppe), elle implique des travaux invasifs dont il résulte en outre une perte de surface utile. Elle se heurte, comme pour les façades, à la présence d'aménagements de qualité dans le second œuvre: boiseries, moulures, papiers peints, etc.

Dans certains cas, l'interstice entre les boiseries et les maçonneries peut être isolé à l'aide de granulés ou d'un flochage de fibres – sous réserve

bien sûr d'une appréciation détaillée des risques hygrothermiques. Les contre-cœurs sous fenêtres, minces et particulièrement mal isolés, peuvent également faire l'objet de doublages ou d'isolations ponctuelles. Dans les parties ne présentant pas de second œuvre digne d'intérêt (par exemple les combles), l'usage de crépis isolants, de doublages maçonnés ou de doublages «classiques» à l'aide de matelas de fibres peuvent constituer des solutions.

Pour résumer, de tous les matériaux et de toutes les mises en œuvre passés en revue, il n'en est pas un qui soit à même de formuler, seul, l'entier de la réponse à la question de l'isolation d'un bâtiment historique. Le panache des techniques d'intervention est souvent un chemin menant à des solutions adaptées aux spécificités de chaque cas.

ASSAINISSEMENT DES FENÊTRES

Les fenêtres anciennes sont consubstantielles aux bâtiments qui les abritent. Il s'agit majoritairement de menuiseries de grande qualité artisanale, qui participent tant du décor intérieur que de l'expression de la façade. À ce titre, elles forment une composante essentielle de la substance historique, et assurer leur préservation est important. D'un autre point de vue, elles constituent une réelle faiblesse en ce qui concerne le confort thermique: les simples vitrages ne présentent qu'une valeur d'isolation extrêmement faible, et l'étanchéité à l'air est rarement optimale, induisant une désagréable sensation de courants

d'air. Qui plus est, intervenir sur les fenêtres est relativement facile; c'est donc un levier d'action important pour améliorer le bilan thermique.

On l'aura compris, si le remplacement pur et simple de fenêtres historiques n'est pas une option, il existe plusieurs autres modes d'intervention plus respectueux du patrimoine.³

■ **Remplacement du vitrage**

La première mesure à évaluer consiste à remplacer les verres simples par des doubles vitrages isolants. On peut opter pour des verres isolants standard (20 à 24 mm d'épaisseur), qui peuvent nécessiter soit l'approfondissement des feuillures, soit la pose d'un cadre de recharge en bois appliqué sur les vantaux existants par l'extérieur, afin d'absorber l'épaisseur supplémentaire induite. Le poids qui en résulte n'est pas à négliger non plus, et il faut s'assurer que la fenêtre ancienne est suffisamment solide pour y faire face. Il existe aujourd'hui des vitrages isolants de moindre épaisseur (16 mm) et des techniques de collage (en lieu et place des mastics à l'ancienne) qui permettent également une pose affleurée dans les feuillures existantes, sans approfondissement de celles-ci ni cadres de recharges par l'extérieur.

Enfin, de récents développements ont mené au développement de vitrages isolants sous vide – dits aussi vitrages japonais – d'une épaisseur totale de 8 mm, qui présentent des capacités isolantes comparables à un double vitrage classique, pour une épaisseur

2 à 3 fois moindre, ce qui permet un remplacement du verre quasi «à l'identique», avec ses solins de mastic. Le coût de ces nouveaux produits est encore élevé, mais ici aussi, la demande risque d'être forte et avec le développement probable de nouveaux marchés, les prix pourraient sensiblement baisser à l'avenir.

■ **Contre-fenêtre extérieure**

De nombreuses maisons anciennes possèdent deux plans de vitrage: une fenêtre intérieure fixe, souvent en bois dur – chêne ou noyer – et une fenêtre extérieure mobile, dite aussi fenêtre d'hiver. Ces dernières n'étaient en effet posées qu'à la saison froide, et faisaient l'objet de manipulations saisonnières. Elles peuvent être en tous points similaires aux fenêtres intérieures, ou alors d'une facture plus simple, notamment par l'usage de bois moins nobles tels que le pin ou le sapin. En tous les cas, il s'agit bien souvent de simple vitrage pour l'une et l'autre.

Une des (bonnes) options possibles consiste à remplacer les anciennes fenêtres d'hiver – souvent abîmées par leur longue exposition aux intempéries – par des contre-fenêtres neuves, fixes et performantes. Cette disposition a l'avantage de protéger durablement la fenêtre intérieure, en la soustrayant à la pluie.

En revanche, il faut veiller au choix de cadres fins et de verres transparents, dans des exécutions spécifiquement adaptées aux huisseries anciennes qu'elles accompagnent. Les produits standard disponibles sur le marché ont souvent des cadres

épais et des verres légèrement teintés, qui peuvent conduire à une diminution sensible des apports en lumière naturelle et de la perception générale d'ouverture.

■ **Contre-fenêtre intérieure**

Dans certains cas, la pose d'une contre-fenêtre intérieure peut être une bonne stratégie, en particulier lorsque celle-ci est combinée avec une isolation par doublage intérieur. Il n'en résulte aucune modification de l'apparence des façades, et cela permet une continuité de la strate isolante plutôt favorable au point de vue de la physique du bâtiment (voir l'encadré sur la maison de Matten, ci-après).

■ **Gains solaires**

Il faut signaler enfin que les fenêtres ne sont pas que des points faibles induisant des pertes thermiques, mais qu'en captant le rayonnement solaire, elles peuvent aussi conduire à des gains thermiques parfois considérables, surtout si l'orientation est favorable et la surface vitrée importante. Un bilan thermique détaillé peut en faire état, et il est occasionnellement possible de limiter les mesures d'assainissement en conséquence. ■

¹ Atténuation de la pente de la couverture en pied de toit.

² Voir l'exemple Cité-de-la-Corderie à Genève (cf. réalisations exemplaires).

³ On se référera à l'excellent ouvrage *Assainissement de fenêtres* publié par le Laboratoire de construction et conservation de l'EPFL, sous la direction du Prof. Luca Ortelli, de même qu'au *Guide de bonnes pratiques* publié par la CMNS (cf. bibliographie).

PRÊCHER PAR L'EXEMPLE : LA MAISON DE MATTEN



Érigée vers 1570, la maison de Matten a été sauvée de la ruine et déplacée au Musée suisse de l'habitat rural de Ballenberg en 1978. C'est une construction en madriers typique de l'Oberland bernois, qui ne connaissait aucun confort moderne – ni installations sanitaires, ni électricité, ni chauffage central, et encore moins d'isolation thermique. En 2007, le musée a décidé d'en faire un chantier de reconversion didactique et expérimental, démontrant concrètement la possible adéquation entre bâti historique, habitabilité et qualité architecturale d'aujourd'hui. Le cahier des charges incluait entre autres :

- une mise à jour technique complète (électricité, installations sanitaires, sécurité)
- le respect des normes énergétiques les plus strictes, équivalant au standard Minergie
- un budget limité, correspondant aux ressources d'une famille de classe moyenne

La stratégie d'isolation choisie est un doublage intérieur de type «boîte dans la boîte» (ou *Haus im Haus*), consistant en une nouvelle épaisseur de madriers



apparents formant caisson avec la façade ancienne – intouchée – et enserrant un remplissage en fibres végétales. Cette nouvelle coque en bois comporte également des contre-fenêtres intérieures, généreuses et performantes. En outre, la qualité expressive du matériau et sa mise en œuvre artisanale sont à relever : elles mettent en valeur l'architecture d'origine par un contraste assumé mais délicat.

Le système de chauffage réhabilite l'ancien fourneau en molasse au centre du bâtiment, et en fait même la pièce maîtresse du dispositif. Couplé à un appoint sous forme de panneaux thermiques, il alimente un accumulateur d'eau chaude distribuant les nouveaux radiateurs. Une annexe moderne, construite à l'emplacement d'un appentis qui n'était pas d'origine, accueille les panneaux solaires et distribue les locaux techniques et sanitaires disposés dans le soubassement.

Le résultat est inspirant, et qui plus est librement visitable.

(Source : FLM, Baudokumentation 1021, photos : Musée suisse de l'habitat rural, Ballenberg).

Installations solaires



Des tuiles solaires innovantes sur une dépendance rurale du Grand Chalet de Rossinière, imitant l'ardoise à la quasi-perfection. La dimension du panneau est celle de trois cellules solaires côte à côte, rendues invisibles par un revêtement mat.

(Source : freesuns)

Après avoir détaillé les moyens permettant de limiter la consommation d'énergie thermique, nous abordons un aspect non moins important : la production d'énergie renouvelable – électrique cette fois – intégrée aux bâtiments. Comme relevé en introduction, les injonctions politiques et l'encouragement économique pour la transition photovoltaïque sont forts, le développement technique rapide mais les milieux patrimoniaux sont encore peu aiguisés pour accompagner ce mouvement. Le cadre législatif et normatif est aussi en évolution. Ce qui suit donne donc un état de la question qui risque d'être dépassé à brève échéance.

PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES

■ *Intégration... ou substitution ?*

Aujourd'hui, les panneaux solaires ne devraient pas être considérés comme des installations techniques rapportées en toiture – comme le sont par exemple les dispositifs de ventilation ou les antennes paraboliques – mais être utilisés comme

des **matériaux de couverture actifs**, faisant l'objet de la même attention architecturale que les matériaux traditionnels. Saupoudrer un toit en tuiles de quelques panneaux plus ou moins bien intégrés fait-il encore sens, alors qu'il est possible de convertir l'entier d'un pan de couverture en une discrète installation solaire ?

En contrepoint, il faut rappeler la nécessité de préserver la substance des toitures anciennes, surtout en présence de revêtements de valeur historique ou artisanale (tuiles manuelles, couvertures en pierre naturelle, tavillons, etc.). L'impact d'un nouveau matériau de couverture sur l'expression générale des édifices – et des sites – concernés est également à prendre en compte, en incluant les vues lointaines. En tous les cas, une soigneuse pesée des intérêts doit avoir lieu avant toute intervention.

■ *Orientation et géométrie*

Tous les pans d'une toiture ne sont pas égaux face au rayonnement solaire. Les orientations préférentielles sont

le sud, l'est et l'ouest ; cela dépend aussi de la pente et de l'angle d'exposition correspondant, comme des éventuels facteurs d'ombrage dus au voisinage ou à la végétation. D'autre part, toutes les émergences en toiture (cheminées, lucarnes, etc.) constituent autant d'obstacles supplémentaires à leur mise en œuvre. Les géométries les plus favorables sont donc les pans de toiture réguliers, d'un seul tenant, permettant des installations simples et cohérentes. Quand elle est possible, la pose au sol est aussi une bonne option, par exemple contre des murs de soutènement. Les annexes de moindre valeur constituent également un choix préférentiel. Il est relativement aisé de déplacer l'installation photovoltaïque à distance du bâtiment principal et de la centrale technique, étant donné qu'ils sont faciles à relier par un simple câble électrique.

■ *Type de panneaux disponibles*

Les panneaux solaires standard ont des dimensions de l'ordre de 1.00 x 1.60 m.¹ Les cellules de couleur bleue ou noire sont protégées par un vitrage et un cadre métallique, ce qui leur

¹ Correspondant à un champ de 6 x 10 cellules carrées d'environ 15 cm de côté. D'autres exécutions comportant un nombre différent de cellules sont possibles.



donne l'aspect d'un caisson plat de 3 à 5 cm d'épaisseur. C'est une technologie éprouvée, durable et désormais produite à bas coût. Toutefois leurs dimensions contraignantes, l'impossibilité de pouvoir les tailler (notamment en biais) pour s'adapter de manière fine à la géométrie des toitures, le fait qu'ils ne soient pas utilisables comme matériau de couverture étanche – ce qui implique nécessairement leur pose comme éléments rapportés – et leur apparence très technique, enfin, rendent leur intégration difficile. En contexte patrimonial ou paysager sensible, ils ne devraient donc être utilisés que sur les pans de toiture **non visibles**.

Aujourd'hui, la recherche – particulièrement en Suisse – a mené au développement de **panneaux à couches minces**, de l'épaisseur de deux verres collés, sans cadre ni cellules visibles et pourvus d'un film coloré non réfléchissant, dans un choix de teintes théoriquement sans limites (en particulier *terre cuite* et *ardoise*). Ils se déclinent en différents formats et peuvent être découpés sur mesure pour accompagner les géométries de toiture complexes.

Enfin, ils constituent un véritable matériau de couverture étanche, permettant une pose à clin, totalement intégrée dans le plan de la toiture.

Ces produits ouvrent de nouvelles possibilités architecturales et leur intégration aux édifices historiques sera sans doute plus facile à envisager ; quelques réalisations pionnières le montrent déjà.² Forcément, toutes ces qualités ont un coût, et leur rendement est pour l'heure inférieur aux panneaux standard.³

Enfin, il existe de véritables «tuiles solaires» imitant de près les couvertures à écailles, en ardoise ou en terre cuite. Leur capacité d'intégration encore plus élevée leur vaut un rendement d'autant plus faible. Faut-il vraiment aller si loin dans le mimétisme, et concevoir des toitures solaires en «pseudo-tuiles», au détriment de leur efficacité ? Le débat sera sans doute passionné.

CAPTEURS THERMIQUES

Les capteurs thermiques ont pour but de concentrer la chaleur issue du rayonnement solaire, pour la production d'eau chaude sanitaire et de chauffage. La chaleur est transportée par le biais d'un réseau hydraulique et stockée dans un cumulus à l'intérieur du bâtiment pour être utilisée à la demande. Les capteurs les plus communs se présentent sous la forme de caissons vitrés, mais d'autres technologies existent, notamment les capteurs non vitrés (de simples tôles métalliques foncées non isolées, moins chères, plus faciles à intégrer, mais avec des rendements beaucoup plus

faibles), et les capteurs à tubes sous vide, avec un rendement optimal mais une apparence très technique difficile à concilier avec des constructions anciennes.

L'emploi de capteurs thermiques dans la construction durable a commencé bien avant celle des panneaux photovoltaïques – le vitrage d'une serre constitue en soi déjà une forme de captage solaire low-tech. Aujourd'hui, ils semblent en perte de vitesse relative, peut-être due au fait que les centrales de chauffage à énergie renouvelable se développent de manière importante (bois et PAC), et qu'une installation de production de chaleur complémentaire peut sembler inutile dans ce contexte.

Contrairement aux panneaux photovoltaïques, ils ne peuvent pas être posés loin du lieu de consommation de l'énergie qu'ils produisent, à cause des pertes induites par de longues tuyauteries hydrauliques.

D'autre part, leur rendement est excellent en été, plus faible en hiver, ce qui entre en contradiction avec les besoins de chauffage proprement dits. Lorsque les capteurs thermiques sont combinés avec une pompe à chaleur sur sondes géothermiques, la chaleur excédentaire ainsi produite en été peut quelquefois – quand les conditions géologiques le permettent – être stockée dans le sol pour en être ré-extraite lors de la saison de chauffage.

En tous les cas, les capteurs thermiques peuvent constituer un appoint intéressant pour l'eau chaude sanitaire, dont la consommation est plus ou moins stable tout au long de l'année. ■

² Voir l'exemple de la ferme de Wabern (cf. réalisations exemplaires).

³ L'étude très complète *Building Integrated Photovoltaics* (SUPSI 2020, cf. bibliographie) donne des chiffres à ce propos, qui évoluent toutefois rapidement vers plus d'efficacité et une baisse des coûts.

Table des matières

	MAISONS DE CAMPAGNE	Page
1	Domaine Micheli – Landecy	34
2	Château d’Hauteville – St-Légier	38
3	Maison San Niclo – Latsch	42
	Ferme de Weyergut – Wabern	44
	MAISONS DE VILLE	
4	Tour-de-Boël – Genève	46
	Cité-de-la-Corderie – Genève	48
5	Le Pertuis – Neuchâtel	50
6	Stadthaus – Zurich Oerlikon	54

4. Réalisations exemplaires



EXEMPLE 1 – CAMPAGNE GENEVOISE

MAISON DE MAÎTRE DU DOMAINE MICHELI – LANDECY (GE)

Situation

Le domaine Micheli est une propriété de campagne du XVIII^e siècle. Celle-ci comporte un important ensemble de bâtiments ruraux, dont certains remontent au XVI^e siècle. Le corps principal, une longue maison de maître surmontée d'une toiture à la Mansart, a été construit en 1699 par la famille Perdriau. Il est adossé à des dépendances rurales plus anciennes et reprend sans doute en partie un bâti antérieur. Sa façade principale est orientée au nord et s'ouvre sur la campagne et le grand paysage environnant. Le domaine fait l'objet d'une mesure de classement cantonale et figure également à l'inventaire fédéral des biens culturels d'importance nationale.

Initialement destinée à une occupation saisonnière liée aux activités agricoles du domaine, la maison de maître est désormais habitée à l'année par ses propriétaires. Elle ne comportait précédemment pas de chauffage central, sauf des installations ponctuelles destinées à tempérer les lieux à l'entre-saison. Le projet présenté ici visait donc à assurer le confort thermique nécessaire à une occupation continue, tout en garantissant la préservation des exceptionnels intérieurs du XVIII^e.



Domaine Micheli, façade principale de la maison de maître. En arrière-plan, le rural accueillant les nouvelles installations de production de chaleur.

DOMAINE MICHELI – LANDECY

Production de chaleur

La production de chaleur centralisée consiste en une chaudière à granulés de bois (pellets), qui prend place dans un rural situé à proximité du corps de logis. Celui-ci accueille aussi le stock de pellets dimensionné pour 2 à 3 remplissages annuels. Ces nouvelles installations sont habilement intégrées à l'ancienne écurie des vaches au rez-de-chaussée.



La paroi des anciennes écuries, derrière laquelle sont logés la chaudière et le stock de pellets.

Distribution de chaleur

La distribution de chaleur repose sur une stratégie hybride, combinant trois types d'installations: le chauffage au sol basse température, des corps de chauffe haute température (radiateurs et convecteurs) et un chauffage à air pulsé. Cette approche différenciée permet une intégration architecturale fine des nouvelles techniques dans le bâti existant, tout en garantissant une préservation optimale de la substance historique.

Au **rez-de-jardin**, la majorité des pièces sont pourvues du chauffage au sol. Son installation a nécessité la dépose, la réfection et la repose des revêtements de sol, ce qui a permis la création d'un vide sanitaire et l'isolation des planchers concernés. Par égard pour la valeur particulière de certains aménagements (parquets marquetés, dallage en pierre massive du hall central), le chauffage au sol n'a pas été installé dans certaines pièces qui font dès lors l'objet d'une occupation ponctuelle ou saisonnière, à l'exemple du grand salon se déployant sur la moitié ouest du rez-de-jardin.



Hall d'entrée du rez-de-jardin.



Un convecteur à ailettes assure discrètement le confort hivernal.

DOMAINE MICHELI – LANDECY

Distribution de chaleur

Dans les **étages**, les pièces orientées en est sont équipées de corps de chauffe classiques, astucieusement intégrés dans des corps creux préexistants ou des boiseries spécifiquement créées à cet effet, tandis que celles situées en ouest sont pourvues d'un système à air chaud pulsé. Ce mode de distribution de chaleur est peu courant dans les espaces d'habitation, à tout le moins dans nos contrées¹; il a nécessité l'installation d'un échangeur relativement volumineux dans une soupenne de la maison. La finalité de ce choix était d'éviter toute distribution hydraulique dans les pièces situées au-dessus du grand salon, afin de se prémunir de dégâts d'eau potentiellement désastreux eu égard à la valeur patrimoniale de ce salon, en particulier de ses peintures murales du XVIII^e. Ici encore, la distribution aéraulique est discrètement subordonnée aux aménagements intérieurs d'origine.

Les **combles**, enfin, ont été isolés par l'intérieur et sont également chauffés à l'air pulsé.



Une chambre à coucher dans l'aile ouest.
La bouche de pulsion d'air chaud a pris place dans l'un des œils-de-bœuf des boiseries d'alcôve.



Echangeur de chaleur installé dans la soupenne d'une annexe.

¹ Par clin d'œil, signalons tout de même le précédent du château de l'Aile à Vevey, évoqué dans l'aperçu historique. Son constructeur – par ailleurs époux Micheli – en avait importé le principe d'Angleterre, alors que les propriétaires de la maison de Landecy se sont familiarisés avec le chauffage à air chaud lors d'un séjour aux Etats-Unis.

DOMAINE MICHELI – LANDECY

Fenêtres

Originellement occupée à la belle saison seulement, la maison ne comportait pas de vitrages d'hiver. En outre, la façade principale étant orientée plein nord et la part de vitrage importante, il en résultait une sensation d'inconfort et des déperditions thermiques hivernales massives, sans gains solaires pour y suppléer. Les propriétaires ont opté pour la pose de contre-fenêtres fixes, montées en applique extérieure et fabriquées d'après le modèle intérieur, en noyer massif. Elles en reprennent le matériau et le dessin détaillé, avec cadres et croisillons moulurés. Il s'agit de fenêtres à guillotine, où le vantail inférieur s'ouvre par coulissement vertical au moyen d'un contrepoids logé dans la boiserie d'embrasure. Comme il n'est pas possible d'installer de mécanisme à contrepoids pour les fenêtres extérieures, celles-ci sont pourvues d'un système à ressorts. L'ensemble constitue une prouesse artisanale qui s'intègre parfaitement aux façades existantes, sans en altérer l'expression architecturale. Les déperditions thermiques par les fenêtres ont été réduites de 60%² et le confort intérieur sensiblement amélioré par une meilleure étanchéité à l'air de l'enveloppe.



Captage solaire passif et actif



L'orangerie en façade sud des annexes de la maison de maître.

S'il n'y a pas de panneaux solaires photovoltaïques sur le domaine, il présente toutefois deux modalités de valorisation des gains solaires. La première est un captage solaire passif qui réside simplement dans la conversion de l'ancienne orangerie, au sud de la maison de maître, en un espace habité naturellement tempéré. Bien que celui-ci ne soit que peu chauffé et pas isolé – les fenêtres ont conservé leur simple vitrage et leurs fines huisseries métalliques – il est particulièrement agréable à l'entre-saison. La seconde consiste en l'installation d'un captage actif sous la forme de panneaux solaires thermiques à l'intérieur d'une ancienne serre, également orientée plein sud. Ce dispositif technique est donc totalement invisible de l'extérieur.

² valeur U d'une fenêtre simple : 5.00 – valeur U d'une fenêtre avec contre-fenêtre : 2.30 (source : ORTELLI & al., pp. 33-47).

EXEMPLE 2 – CAMPAGNE VAUDOISE

CHÂTEAU D'HAUTEVILLE – ST-LÉGIER (VD)

Situation

Le château d'Hauteville a été bâti vers 1760 pour le compte de Pierre-Philippe Cannac, banquier à Genève et à Lyon, sur la base d'un édifice précédent. Deux générations plus tard, il entre dans la famille Grand d'Hauteville, qui étendra progressivement l'emprise du domaine. Doté d'une situation exceptionnelle, il est adossé au coteau viticole entourant Vevey et domine le panorama grandiose du Léman et des Alpes savoyardes. Le château se compose d'un corps principal orienté au sud, prolongé de deux ailes arrière en U enserrant la cour d'honneur et terminées par des pavillons de plan carré. La propriété compte de nombreuses dépendances dont une orangerie et un bûcher à l'ouest, des serres et le logement du jardinier à l'est; une ferme et une grange

encadrent symétriquement l'entrée du domaine avec son allée arborée. L'ensemble est inscrit comme bien culturel d'importance nationale et a été classé Monument historique par le Canton de Vaud.

Resté plus de deux siècles en mains de la famille Grand d'Hauteville, le château a été vendu en 2019 à l'université américaine Pepperdine pour y aménager un campus destiné à accueillir une centaine d'étudiants en internat. L'ambitieux chantier de rénovation entrepris par ses nouveaux propriétaires vise d'une part la conservation-restauration du château, d'autre part une adaptation fine et sensible à ses nouvelles fonctions ainsi qu'aux exigences de confort et d'efficacité énergétique actuels.



Vue aérienne du château avant travaux.

CHÂTEAU D'HAUTEVILLE – ST-LÉGIER

Production et distribution de chaleur

Une nouvelle centrale de chauffage a pris place dans la grange gardant l'entrée du site, et fournit l'entier de la propriété sous la forme d'un chauffage à distance (CAD) aux plaquettes forestières. Le bois provient des forêts du domaine, dont la majeure partie appartient aujourd'hui à la Commune de Blonay-Saint-Légier. Un silo souterrain de 100 m³ assure une autonomie minimale d'environ un mois au plus gros de l'hiver. La distribution existante par radiateurs, datant des années 1950, a été conservée et complétée dans les combles, qui n'étaient que partiellement chauffés.



La nouvelle centrale thermique aux plaquettes forestières. On notera la taille très réduite de ces installations, sachant qu'elles desservent les quelque 7 000 m² de plancher du château. À droite, la vis d'alimentation en combustible; à gauche, les accumulateurs servant à uniformiser la distribution de chaleur.

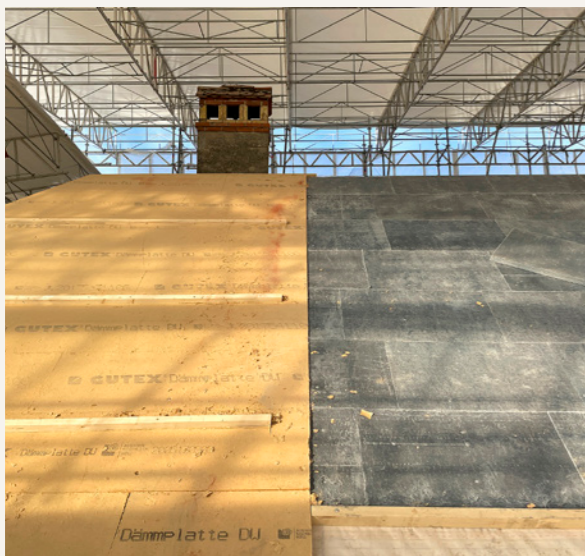
Isolation de l'enveloppe



Isolation des ailes latérales (entre chevrons, avec panneau de sous-couverture) et des pavillons de tête (sur chevrons). Le réveillon visible sur la gauche amortit la surépaisseur ainsi créée.

Le parti général est d'isoler l'enveloppe partout où le bâtiment le permet, en recourant à un ensemble de mesures différenciées et adaptées aux possibilités de chaque situation. L'isolation concerne en premier lieu les **toitures**, dont l'entier des volumes est désormais occupé de manière pérenne, notamment par les dortoirs des étudiants de premier cycle. Ainsi, les charpentes des ailes latérales sont rembourrées à la ouate de cellulose entre chevrons, et protégées par une sous-couverture isolante en fibre de bois.

CHÂTEAU D'HAUTEVILLE – ST-LÉGIER



Isolation du corps central. À gauche, des panneaux de sous-couverture classiques, identiques à ceux mis en œuvre sur les ailes latérales. À droite, des panneaux ultra-performants aux aérogels.

Les toitures pyramidales des pavillons, quant à elles, sont isolées par l'extérieur au moyen de panneaux de fibre de bois dont l'épaisseur relativement importante (30 cm) est amortie au niveau du réveillon, ce qui la rend totalement invisible. Enfin, là où de telles épaisseurs sont inconcevables – joues des lucarnes, toiture du corps central – des panneaux ultra-isolants aux aérogels ont été mis en œuvre. Pour une performance comparable, ceux-ci ne mesurent en effet que 6 cm d'épaisseur.

Les **maçonneries** des frontons centraux sont également pourvues d'un crépi isolant aux aérogels sur leur face intérieure. Le rez-de-chaussée des pavillons, enfin – borgne et sans revêtements intérieurs d'intérêt, puisqu'il s'agissait d'une remise et d'écuries – accueille un doublage en laine de pierre tout à fait classique. Les chambres des étudiants de deuxième cycle, abritées dans l'ancien bûcher, sont quant à elles constituées de «boîtes» isolées en ossature bois délicatement insérées à l'intérieur des volumes existants, sans intervention sur les maçonneries ou les bardages en bois d'origine.

Espaces tempérés

Plusieurs espaces de réception, d'utilisation tout à fait occasionnelle, ne sont pas isolés. Il s'agit notamment du grand salon se déployant sur deux niveaux au centre du bâtiment, ainsi que des caves et du pressoir, qui ne sont que ponctuellement tempérés par rayonnement. Plus encore, les vitrages du grand salon n'ont pas été modifiés, conservant ainsi un témoin de l'état originel du bâtiment. Il en va de même avec l'ancienne salle à manger dans l'angle sud-est, qui bénéficie d'importants gains solaires de par son orientation. Enfin, les serres du domaine, non isolées

et non chauffées, seront converties en espace d'enseignement saisonnier.

Un bilan thermique détaillé a mis en évidence le potentiel non seulement des gains solaires précités, mais aussi des gains internes, dus notamment à la présence de nombreux occupants dans la nouvelle affectation du château comme lieu de vie et de formation. Ces deux facteurs combinés permettent d'envisager une réduction d'environ 30% des besoins bruts de chaleur, ce qui est loin d'être négligeable.¹

¹ Besoins bruts en chauffage et eau chaude sanitaire ~390'000 kWh ; gains solaires et internes ~110'000 kWh. La consommation globale se situe dès lors autour de 90 kWh/m²/an (source : bureau Olivier Zahn, ingénieurs en thermique et physique du bâtiment). Ces chiffres sont à mettre en regard de ceux donnés en introduction au chapitre 3, section «bilan thermique».

CHÂTEAU D'HAUTEVILLE – ST-LÉGIER

Fenêtres

L'opération d'assainissement des fenêtres recourt elle aussi à une variété d'approches spécifiques. Les fenêtres intérieures des pavillons sont conservées en l'état et doublées de **fenêtres d'hiver permanentes** très fines, sans croisillons et pourvues de verres isolants à haute performance. Le même type de vitrages est utilisé pour les grandes baies de l'orangerie, qui devient le réfectoire du campus.

De nouvelles fenêtres en bois à triple verre isolant classique sont installées dans les lucarnes de toiture, réalisées d'après le modèle d'origine, ainsi que pour les chambres du bûcher et des combles. Dans les façades du corps principal et des ailes latérales, les huisseries existantes sont restaurées et munies de **vitrages isolants à haute performance**, en remplacement du simple vitrage dont elles étaient précédemment équipées. Ces verres sous vide ne mesurent que 8 mm d'épaisseur, contre 3-4 mm pour le verre simple.² Ils s'insèrent donc sans peine dans les battues existantes. Ils sont posés à bain de mastic, en restituant pleinement l'apparence d'origine.



La restauration du château d'Hauteville constitue un chantier exemplaire, dans lequel produits et mises en œuvre traditionnelles – isolants floqués, doublages en panneaux de fibres, fenêtres à triple vitrage – se combinent habilement avec des techniques et des matériaux innovants, tels que les

isolants ultra-performants à aérogels et les vitrages sous vide. Ces précieuses expériences viendront sans nul doute enrichir le panel de possibilités et le débat autour de l'assainissement énergétique d'édifices à haute valeur patrimoniale.

² La valeur U de ces vitrages est de 0,7, selon les données du fabricant. Toutefois, celle-ci est péjorée par un effet de bord non négligeable (absence d'intercalaire isolant). Des simulations fines donnent ainsi une valeur U globale d'environ 1,5 pour ces fenêtres novatrices, ce qui correspond peu ou prou à un double vitrage isolant de qualité, l'épaisseur en moins (source : O. Zahn).

EXEMPLE 3 – CAMPAGNE (GR / BE)

MAISON SAN NICLO 9 – LATSCH (GR)
FERME DE WEYERGUT – WABERN (BE)

Techniques solaires : deux maisons rurales

Les deux réalisations présentées ci-après ont pour particularité de réserver une place importante aux techniques solaires dans le projet de rénovation. La première, une maison historique dans les Grisons centraux, a été sauvée de la ruine et convertie en bâtiment à zéro énergie¹, gratifié entre autres du Prix

solaire européen en 2020. La seconde – une ferme bernoise transformée en logement collectif – intègre une toiture solaire innovante et particulièrement bien intégrée dans le site, qui lui a valu le Prix solaire suisse en 2020 ainsi qu'une distinction de la section bernoise de Patrimoine suisse.

San Niclo 9



Le village de Latsch dans la vallée de l'Albula comporte un noyau dense de maisons construites dans la plus pure tradition engadinoise, dont une bonne part remonte au XVII^e siècle au moins. L'une d'entre elles était abandonnée depuis deux générations et a fait l'objet d'une rénovation ambitieuse, combinant respect de la substance

historique et intégration de nouvelles techniques énergétiques. La maison en question se compose d'un volume en maçonnerie sur rue – la partie habitable d'origine – prolongé sur l'arrière par deux modestes annexes rurales en bois.

¹ Sur le bilan énergétique annuel.

LATSCH – GRISONS

Le projet tire parti de cette disposition pour ordonner les interventions de manière différenciée: si l'avant a été rénové dans le strict respect de ses aménagements intérieurs d'origine – et ce sans aucunes

mesures d'isolation, ni intérieure ni extérieure – l'arrière a été en bonne part reconstruit et transformé en un généreux séjour contemporain, avec loggia sur le panorama alpin et spa au sous-sol.



Les toitures des annexes ont quant à elles été converties en une petite «centrale énergétique» solaire photovoltaïque et thermique. De par la configuration des lieux, ces installations restent totalement invisibles du village. Elles alimentent le système de chauffage composé d'une pompe à chaleur sur forages géothermiques. L'excédent de chaleur produit en été est stocké en profondeur dans le sous-sol rocheux, d'où il est ré-extrait durant l'hiver. Pour des raisons de protection incendie, un doublage en maçonnerie était nécessaire contre la maison voisine, et ce sur toute la hauteur (5 étages) du volume habitable. Cette nouvelle paroi a été mise à profit pour y intégrer la distribution de chaleur au moyen de serpentins muraux, permettant de délester le bâtiment de tous corps de chauffe apparents et de ne pas déposer les planchers historiques en bois.



La «centrale solaire» de San Niclo 9, couvrant l'ensemble des besoins énergétiques du bâtiment rénové.

Crédits: Felix Partner Architektur & Design; photos: Thomas Aus der Au; vue aérienne: Wave Trophy

WABERN – BERNE

Weyergut

Le Weyergut est un domaine rural situé à Wabern, en périphérie immédiate de la ville de Berne. Constitué dès le XVI^e siècle, l'ensemble comporte une maison de maître avec jardin baroque et plusieurs bâtiments agricoles, dont un grand corps de ferme incluant habitation et rural, auquel s'adosse une grange-écurie rebâtie au début du XX^e siècle sur des caves historiques du XVI^e siècle.



Le projet de rénovation a consisté à transformer le corps de ferme et la grange attenante, désaffectés depuis de nombreuses années, en neuf appartements familiaux, offrant en outre de généreux espaces communs intérieurs et extérieurs. Les mesures d'isolation font preuve d'un grand pragmatisme: l'enveloppe thermique se situe soit à l'extérieur, soit à l'intérieur des structures portantes, ou encore de part et d'autre, voire même dans le plan de celles-ci, s'agissant des ossatures en bois (*Fachwerk*) et de la charpente de l'habitation historique. Cette approche hybride permet de s'adapter en finesse au bâti existant en respectant ses propres règles, rendant l'opération *in fine* quasi invisible.

WABERN – BERNE

Les sols contre terre et le plancher des combles sont également isolés, laissant le grand volume sous toiture inhabité mais à disposition de tous. Enfin, l'enveloppe thermique comporte également de grandes surfaces en vitrages isolants très performants, permettant à la fois un apport de lumière à travers les claires-voies des façades d'origine comme l'exploitation des gains solaires passifs.²



L'ancienne grange-écurie du Weyergut avec sa toiture solaire, devenue l'emblème de la réhabilitation douce du site.

La production de chaleur consiste en une PAC géothermique, dont les besoins en électricité sont couverts à 80% par des panneaux photovoltaïques couvrant l'intégralité de la grange-écurie. Cette toiture est constituée de **tuiles solaires de grand format** couleur terre cuite mate, développées et fabriquées en Suisse. Les raccords en bordure de toiture sont particulièrement soignés: tuiles actives mais de plus petite largeur sur les virevents, éléments inactifs coupés en biais sur les arêtiers, modules de dimensions spéciales pour couvrir également les demi-croupes. Tous ces détails en font une solution cohérente et intégrée, très éloignée de la technicité usuellement affichée par les installations rapportées. À côté des petites tuiles à recouvrement de la maison de maître et de la grande toiture en tuiles mécaniques du corps de ferme, le Weyergut affiche désormais une toiture solaire de nouvelle génération qui se fond harmonieusement dans l'ensemble historique.

Ces deux projets illustrent la contribution importante que les bâtiments patrimoniaux peuvent apporter à la transition énergétique, sans pour autant renoncer à leurs qualités intrinsèques. Peut-être même que la grande toiture de la ferme du Weyergut gagnerait

elle aussi, dans un futur proche, à être convertie en une centrale solaire produisant une énergie verte excédentaire, servant par exemple à alimenter les besoins de ses habitants pour la mobilité électrique?

² La consommation énergétique a été ramenée à moins d'un quart de ce qu'elle était avant travaux, alors que dans le même temps, la SRE (surface habitable chauffée) a été presque quadruplée. Besoins en énergie finale avant travaux (chauffage et électricité) ~750 kWh/m²/an [sic], après travaux ~44 kWh/m²/an (source: Prix solaire suisse 2020). Ces chiffres sont à mettre en regard de ceux donnés en introduction au chapitre 3, section «bilan thermique».

EXEMPLE 4 – VILLE DE GENÈVE

RUE DE LA TOUR-DE-BOËL 7
RUE CITÉ-DE-LA-CORDERIE 10 – GENÈVE

Deux immeubles urbains à Genève

Les deux immeubles de logements présentés ci-après appartiennent à la Ville de Genève, qui mène depuis plusieurs années une politique active d'assainissement énergétique de son parc immobilier, étroitement concertée avec les enjeux de la protection patrimoniale. Au-delà de leurs quelques similitudes – des bâtiments locatifs de construction pré-

industrielle, appartenant au même propriétaire – ils ont fait l'objet de projets de rénovation et surtout d'assainissements énergétiques sensiblement différents. Présentés en parallèle, ces exemples illustrent la nécessité d'une approche pondérée et spécifique à chaque objet, avec son potentiel et ses contraintes propres.

Tour-de-Boël 7 : des interventions ponctuelles



L'immeuble de la Tour-de-Boël se situe en Vieille Ville de Genève; il clôt une rangée d'étroites maisons mitoyennes dans laquelle il occupe la position de tête. Érigé au début du XVIII^e siècle à l'emplacement de bâtiments médiévaux dont les soubassements sont partiellement conservés, il a été exhausé à la fin du XVIII^e pour compter 6 niveaux habitables et un comble. Le bâtiment n'avait jamais fait l'objet de travaux d'envergure, et les appartements ne comptaient ni chauffage central, ni salles de bain. En revanche, ceux-ci présentent de nombreux éléments de second œuvre d'intérêt: stucs, boiseries, cheminées etc. Le projet de rénovation visait à équiper le bâtiment du confort actuel, à en renforcer le système porteur et en améliorer la performance énergétique, sans attenter à ses qualités patrimoniales.

Les **façades en pierre de taille** donnant sur rue ont été ravalées; celles situées en pignon et à l'arrière étaient pourvues de crépis à la chaux qui ont été refaits à l'identique. Pour d'évidentes questions de conservation, aucune intervention n'était donc possible par l'extérieur.

TOUR DE BOËL – GENÈVE



Les mesures d'isolation se concentrent à l'intérieur et consistent en des doublages ponctuels, là où la configuration et le maintien de la substance historique le permettent. En revanche, les façades étant largement fenêtrées, tous les percements ont été pourvus de nouvelles **huisseries en chêne à double vitrage isolant**, de facture artisanale. Les locaux sont également ventilés à double flux, avec récupération de chaleur, et les équipements sanitaires choisis de façon à limiter la consommation, en particulier d'eau chaude sanitaire. L'ensemble de ces interventions a mené à une diminution des besoins énergétiques de l'ordre de 50%. La production de chaleur centralisée est confiée à une chaudière à gaz à haut rendement – la seule option techniquement envisageable dans ce cas particulier, en contexte urbain dense – et la distribution à des radiateurs disposés en contre-cœur des baies.

Les aménagements intérieurs ont été conservés, à l'exception des sols, déposés et remplacés dans le cadre du renforcement statique des planchers. Les combles ont été aménagés en logement et un ascenseur installé à l'emplacement des anciens WC.

Crédits : GM architectes associés; photos: Didier Jordan / Ville de Genève



Corderie 10 : un assainissement global



Érigé au milieu du XIX^e siècle dans le quartier populaire des Grottes, l'immeuble Corderie 10 occupe une position solitaire en arrière-cour d'un îlot urbain. À l'instar de l'exemple précédent, le bâtiment était très vétuste et ne disposait pas non plus de chauffage central ni de salles de bains. La Ville de Genève a donc souhaité le rénover, saisissant cette occasion pour en faire un projet pilote d'assainissement énergétique global, dont les besoins sont désormais couverts à 100% par des énergies renouvelables.



Les façades nord et ouest sont très peu percées (et même quasiment borgne, pour le pignon latéral), à l'inverse des élévations sud et est, à la modénature très marquée: soubassement en grand appareil, pilastres engagés, chaînes d'angles, cordons et encadrements de fenêtres. Ce traitement architectural différencié a induit une réponse similaire quant à l'isolation de l'enveloppe. Sur les façades représentatives, les fonds sont pourvus d'un **crépi isolant** respectant les saillies de la modénature, alors que les façades arrière et latérale ont été isolées par un **doublage extérieur** en laine de pierre dont l'épaisseur est rendue visible par un profilé d'angle métallique. La toiture a également été isolée. Les fenêtres ont été remplacées au profit de nouvelles huisseries à triple vitrage.



La production de chaleur se base sur une pompe à chaleur à sondes géothermiques, dont une part de l'approvisionnement électrique est assurée par une **installation solaire photovoltaïque en toiture**, située sur un terrassement plat invisible depuis la rue. L'autre part du courant est fournie par les SIG sous forme d'électricité 100% renouvelable. Le pan sud de la couverture en tuiles accueille une série de capteurs thermiques sous vide, servant à préchauffer l'eau chaude sanitaire et à fournir un appoint au chauffage. Enfin, le bâtiment a été équipé d'une ventilation à double flux à récupération de chaleur, cette dernière étant également réinjectée dans le circuit de chauffage. Les aménagements intérieurs d'origine, bien que modestes (portes, armoires et parquets en sapin), ont été conservés et rénovés.

L'ensemble des énergies primaires servant à l'exploitation du bâtiment est donc issu soit de la terre (chaleur géothermique), soit du soleil, sous forme d'énergie thermique et d'électricité photovoltaïque.¹

¹ Quelques valeurs concernant le chauffage et l'eau chaude sanitaire : besoins en énergie finale ~44 kWh/m²/an (correspondant de loin au standard Minergie-P ou maison passive); besoins en énergie électrique finale ~6 kWh/m²/an, après prise en compte du coefficient de performance de la PAC et déduction faite de la part photovoltaïque produite in situ (source: ville de Genève).

EXEMPLE 5 – VILLE DE NEUCHÂTEL

MAISON MONTMOLLIN-MERVEILLEUX,
DITE «LE PERTUIS» – NEUCHÂTEL

Situation

La propriété du Pertuis est une maison de maître de la fin du XVIII^e sise à l'orée de la ville de Neuchâtel, dans le vallon de l'Ermitage. Elle se compose d'un corps de logis principal sur trois niveaux, flanqué d'annexes rurales plus basses. Le corps principal, partiellement rebâti et unifié vers 1799, intègre des constructions plus anciennes; la moitié ouest de la charpente des combles remonte ainsi aux années 1740. Le bâtiment est colloqué en première catégorie au recensement architectural du canton de Neuchâtel et le chantier ici présenté a bénéficié de l'accompagnement de l'Office du patrimoine et de l'archéologie (OPAN).

Précédemment occupée par les représentants de la famille Montmollin-Merveilleux, la propriété a été partagée entre les descendant-e-s il y a une dizaine d'années, qui ont alors entrepris des travaux conséquents. Outre un assainissement énergétique général, ceux-ci visaient à remédier à d'importants défauts liés à des infiltrations d'eau dans les charpentes et solivages intérieurs, ainsi qu'en pied de façade. Il s'agissait aussi de créer deux logements supplémentaires destinés à la location et d'intégrer un ascenseur desservant tous les niveaux jusqu'aux combles. Celui-ci a été habilement inséré dans l'ancienne tourelle des latrines. La rénovation a été gratifiée du label Minergie-ECO, une première romande pour un bâtiment de cette qualité patrimoniale.



LE PERTUIS – NEUCHÂTEL

Production et distribution de chaleur

Le chauffage central datait des années 1950 et consistait en une chaudière à mazout, assez malheureusement disposée dans une ancienne cuisine comportant un four à pain historique. Cette installation a été démontée afin de réhabiliter la fonction de la cuisine et de son four, et remplacée par une chaufferie à pellets désormais située dans les caves du corps principal, avec son «big bag» pour stocker les granulés de bois. Les radiateurs existants, en bon état, ont été conservés et ponctuellement complétés par un chauffage au sol dans certaines pièces du rez-de-chaussée, dont le sol a été drainé et isolé à l'aide de granulats de verre cellulaire. Malgré l'augmentation du volume chauffé d'environ 150% due à la création des nouveaux logements, la consommation de chauffage a été divisée par deux et les émissions de CO₂ réduites de plus de 90%, essentiellement par les mesures d'efficacité énergétique décrites ci-après.



L'ancienne chaufferie au rez cachait un four à pain historique, restauré et remis en fonction à l'occasion des travaux.

Isolation de l'enveloppe

Un facteur de forme très favorable – soit un volume quasiment cubique – couplé à une situation mitoyenne qui ne laissait que les façades nord et sud soumises au climat extérieur a permis de renoncer à toute isolation des maçonneries, tout en satisfaisant les exigences élevées du label Minergie. La prise en compte des gains solaires importants en façade principale, bien exposée et largement fenêtrée, y a aussi contribué. Ainsi, l'essentiel des interventions sur l'enveloppe a consisté à isoler la toiture du corps principal et à équiper les fenêtres de nouveaux survitrages performants.

La charpente et le plancher des combles ont été renforcés au moyen d'assemblages réversibles, et la **toiture isolée par l'extérieur** au moyen de ouate de cellulose



L'isolation de toiture, composée de ouate de cellulose et d'une sous-couverture en fibre de bois.

LE PERTUIS – NEUCHÂTEL

recyclée. Les tuiles de couverture, dont une bonne part était encore de facture manuelle, ont été déposées, nettoyées et reposées, et complétées par des tuiles anciennes de réemploi. Les combles ayant été rendus habitables, une grande lucarne en bandeau a été créée à cette occasion. Plutôt que de se glisser «dans» la toiture au moyen de chevêtres découpés dans la charpente, cette lucarne se pose littéralement «sur» les structures existantes, sans en altérer un seul élément. Si cet ajout contemporain a pu faire débat, il a emporté l'adhésion des autorités de par le respect matériel qu'il garantit à la substance historique, tout en signalant avec franchise la nouvelle affectation des combles.



*La charpente de 1740, conservée et mise en valeur.
La trémie et les chevrons interrompus correspondent à l'emplacement d'un ancien «dôme» servant au chargement par le toit de produits agricoles.*

Les fenêtres intérieures de 1800, en chêne avec espagnolettes forgées, étaient en grande majorité bien conservées. Elles ont été restaurées et ponctuellement complétées par des copies de facture identique. Toutes les baies comportaient en outre des **fenêtres d'hiver fixes** qui avaient déjà été changées plusieurs fois et dont la dernière mouture était de piètre qualité. Celles-ci ont donc été déposées et remplacées par une nouvelle génération de survitrages, dessinés sur mesure et de manière contemporaine eux aussi. Il s'agit de vantaux à cadres métalliques de petite section (20 mm), pourvus de vitrages isolants sans petits bois. Cette opération a permis d'améliorer sensiblement le confort thermique¹ et acoustique de même que l'éclairage naturel, enfin de supprimer la condensation hivernale. Une ventilation double-flux avec récupération de chaleur permet aussi d'évacuer l'humidité excédentaire des locaux, qui était problématique avant les travaux.



¹ Valeur U d'une fenêtre simple: 5.00 – valeur U d'une fenêtre simple avec contre-fenêtre en double vitrage isolant: 1.20. Ceci permet de satisfaire la norme 380/1 (2009), qui prescrit une valeur U de 1.30. source: ORTELLI & al., p. 26 et pp. 105-113)

LE PERTUIS – NEUCHÂTEL

Autres mesures environnementales

Conformément au cahier des charges Minergie-ECO, une attention particulière a été portée à la qualité de l'air intérieur et au choix de matériaux à faible impact environnemental. Ainsi, des analyses préalables ont permis de détecter, respectivement d'exclure la présence de polluants tels que le radon, l'amiante, les PCB² et les métaux lourds. La provenance des matériaux de gros œuvre – bois de charpente, lambris, mortiers et crépis autoformulés sur la base d'agréats traditionnels – est éminemment locale et leur mise en œuvre a bénéficié du savoir-faire d'entreprises particulièrement compétentes. Tous les produits de second œuvre et de traitement des surfaces sont

exempts de COV³. Les agencements fixes tels que les meubles de cuisine ou de salles de bain sont en bois massif; les parquets anciens ont été nettoyés et huilés, les peintures aux murs sont à liant minéral, celle des boiseries à la caséine et à l'huile de lin. Ces matériaux naturels et leur mise en œuvre artisanale s'accordent en toute simplicité avec la visée patrimoniale d'un tel chantier.

Outre les deux nouveaux logements dédiés à la location, la maison de maître du Pertuis abrite désormais la direction du Jardin botanique de Neuchâtel.



Tous les espaces ont retrouvé leurs teintes d'origine, à l'aide de peintures à la chaux, à la caséine et à l'huile de lin.

² Les polychlorobiphényles, ou PCB, sont des produits de chimie organique particulièrement toxiques et largement utilisés dans le bâtiment jusque vers les années 1990. On en trouve dans les matériaux d'étanchéité, de jointoyage, les peintures etc.

³ Composés organiques volatiles, tels que les solvants par exemple.

EXEMPLE 6 – VILLE DE ZURICH

STADTHAUS
SCHAFFHAUSERSTRASSE 435 – ZURICH OERLIKON

Situation

Cette maison de ville comporte trois étages d'appartements et un comble habitable mansardé; le rez est dévolu à un petit commerce et le sous-sol aux caves. La façade sur rue possède un caractère représentatif, souligné par un décor en pierre de taille sur fonds de brique apparente. Les deux immeubles mitoyens présentent le même langage architectural et forment un ensemble homogène. À l'arrière, la façade est simplement crépie, et la modénature se limite à

de modestes encadrements de fenêtres. Construit en 1899, l'immeuble a appartenu pendant 110 ans à la même famille et n'a fait l'objet que de mesures d'entretien sommaires. À l'intérieur, le second œuvre d'origine est particulièrement bien conservé, avec ses sols en terrazzo, ses décors au pochoir, ses parquets massifs et... ses poêles en fonte. Le chauffage central n'avait ainsi jamais été installé.



STADTHAUS – ZURICH OERLIKON



Le projet d'assainissement a débuté par une **phase d'analyse et de diagnostic très détaillée**, qui a duré près d'une année. L'objectif était d'élaborer différents scénarios de rénovation et d'évaluer leur impact en termes énergétique et financier, comme de conservation de la substance bâtie historique. Il en résulte un parti d'intervention qui sort des sentiers battus à bien des égards: toujours pas de chauffage central, et encore moins d'isolation en façade, qui sont pourtant les «premiers réflexes» lorsque l'on souhaite augmenter le confort et diminuer la consommation d'énergie. Au contraire, l'approche retenue est frugale et *low-tech*, et cible les efforts de manière extrêmement ponctuelle.

Le hall d'entrée: sols, décors muraux, menuiseries et ferronneries sont encore d'origine.

STADTHAUS – ZÜRICH OERLIKON

Production et distribution de chaleur

Le bilan thermique a révélé que les **poêles existants** étaient largement suffisants pour assurer le confort thermique des occupants, qui continuent donc de se chauffer au bois, apparemment avec un certain plaisir, même si les livraisons régulières de bûches devant la maison étonnent plus d'un passant. Le rez et les combles sont quant à eux pourvus d'une petite chaudière automatique à pellets. Ces deux étages assurent une forme de bouchon thermique sur le bas et le haut de l'immeuble, en soustrayant les logements centraux à des déperditions trop importantes, et donc à de désagréables fluctuations de température.

Les cuisines ne sont alimentées qu'en eau froide; des boilers à haute performance, intégrés au mobilier, permettent de produire l'eau chaude nécessaire au lieu et au moment même de sa consommation. Les salles de bain comportent des receveurs de douche avec circuit de récupération de chaleur, un prototype développé sur mesure permettant une économie de 30% sur la consommation d'eau chaude sanitaire. Il n'y a pas de ventilation mécanique; pour assurer l'évacuation de l'humidité excédentaire, des senseurs hygrométriques signalent au besoin la nécessité d'ouvrir les fenêtres.



Un des poêles en fonte d'origine. À l'inverse des poêles de masse, l'absence d'inertie de ces appareils les rend très réactifs et la chaleur produite se diffuse rapidement. Elle est par la suite emmagasinée dans les murs et cloisons en dur, qui jouent le rôle d'amortisseurs assurant la constance des températures et le confort thermique intérieur.



Le nouveau mobilier de cuisine s'inspire librement des anciens buffets et s'intègre naturellement dans l'environnement existant.



STADTHAUS – ZÜRICH OERLIKON

Isolation de l'enveloppe

Une situation mitoyenne entre deux immeubles voisins est un net avantage quant aux déperditions de l'enveloppe : seules les deux faces frontales du volume sont soumises aux aléas climatiques, les deux autres, latérales, étant réputées neutres au niveau des échanges thermiques. En isolant la toiture des combles et le plancher des caves, sans incidence quant aux qualités patrimoniales de l'immeuble, cela a permis en l'espèce de se passer de toute isolation des façades.

Les **fenêtres**, quant à elles, avaient déjà été changées dans les années 1980, et ne présentaient guère d'intérêt. Elles ont donc été remplacées pour une nouvelle génération de fenêtres, plus isolantes et plus étanches, mais surtout de nettement meilleure facture: les cadres sont en chêne massif, avec des profils fins ayant sensiblement amélioré les apports en lumière naturelle. Ces nouvelles huisseries de qualité artisanale font honneur aux aménagements historiques qu'elles complètent harmonieusement.



Une démarche pionnière

Ce projet a bénéficié non seulement d'une phase d'étude intensive en amont, mais aussi d'un suivi après travaux mené par la Haute école spécialisée de Lucerne (HSLU). Consolider une démarche de ce genre par une évaluation des performances effectives est essentiel pour la convertir en un enseignement, voire en un modèle potentiellement applicable ailleurs.

L'intérêt patrimonial d'une intervention aussi limitée est évident; l'intérêt financier l'est tout autant. Il se dit même que ce projet a échappé à l'obligation d'un permis de construire, ce qui constitue un autre type de performance en soi. Il questionne en tout cas les stratégies d'assainissement usuelles, basées

sur une approche normative dont les résultats sont d'habitude plutôt invasifs. L'étude susmentionnée¹ consiste d'ailleurs aussi à évaluer l'énergie grise des travaux, et à comparer les valeurs obtenues avec l'assainissement de l'immeuble adjacent, de configuration tout à fait semblable à l'origine, mais rénové quant à lui de manière conventionnelle (chauffage central, transformations intérieures lourdes, etc.)

Chaque bâtiment ancien est différent et appelle des réponses qui lui sont propres. Plus encore, une partie de la solution est souvent déjà inscrite dans ses murs. Qui aurait pensé, au sortir des Trente Glorieuses, que des poêles à bois centenaires contribueraient un jour, à leur façon, à la transition énergétique 2050?

¹ À paraître.

5. Financement et fiscalité

I. FISCALITÉ

1. Principes généraux en matière de fiscalité des dépenses immobilières d'immeubles appartenant à la fortune privée

Un propriétaire d'immeuble appartenant à sa fortune privée est principalement confronté à trois types d'impôts directs à compter de l'acquisition du bien jusqu'à son dessaisissement, à savoir les impôts sur le revenu (valeur locative ou loyer brut), sur la fortune (valeur de l'immeuble établie par l'autorité fiscale) et sur les gains immobiliers (taxation des plus-values réalisées lors de transactions immobilières). Les dépenses immobilières sont intrinsèquement liées à ces impôts, en ce sens qu'en fonction de la nature des frais encourus ils pourront (a) être portés en déduction du revenu imposable, (b) augmenter la valeur de l'immeuble pour l'impôt sur la fortune, ce qui réduit le gain imposable au titre de l'impôt sur les gains immobiliers lors de la vente, ou (c) constituer des dépenses privées sans influence sur la charge fiscale du contribuable.

a. Frais d'acquisition du revenu

Les frais d'acquisition du revenu fiscalement déductibles sont les dépenses qui servent à l'entretien des immeubles appartenant à la fortune privée du contribuable. Ces frais couvrent principalement les frais d'exploitation, d'administration et d'entretien au sens étroit. Ces derniers correspondent aux dépenses qu'entreprend le contribuable pour les réparations et rénovations du bien immobilier, et qui représentent des charges et non des investissements, car ces

dépenses n'augmentent pas la valeur réelle qu'avait l'immeuble à l'origine de sa construction, de sorte qu'ils ne devraient pas entraîner une augmentation de la valeur de l'immeuble soumise à l'impôt sur la fortune. Ces frais visent ainsi tant les frais de réparation que les frais de rénovation, en exigeant toutefois que ces frais se limitent à maintenir la valeur de l'immeuble à l'origine, et ne l'accroissent pas. Ces frais sont donc essentiellement ceux qui sont encourus pour des travaux destinés à compenser l'usure normale de la chose due à son usage et à l'écoulement du temps, et à maintenir l'état d'entretien original du bien.

b. Dépense d'investissement

On différencie les travaux d'entretien (qui maintiennent la valeur) des travaux augmentant la valeur d'un bien. Cette distinction se fait sur la base de critères techniques objectifs. Les dépenses augmentant la valeur de l'immeuble ou finalisant/complétant sa construction constituent des dépenses de plus-value et ne sont pas déductibles du revenu au titre de frais d'entretien d'immeubles. Il en est de même des investissements qui ont pour but de changer l'affectation des locaux, de transformer ou d'agrandir un immeuble ou les frais de rénovation totale qui équivalent à une nouvelle construction. Les frais dont seule une partie maintient la valeur du bien, l'autre partie augmentant la valeur, sont partiellement déductibles et augmentent partiellement la valeur. Il faut donc calculer la part déductible et la part d'accroissement de valeur en utilisant une clé de répartition adéquate.

Dans la mesure où ces dépenses augmentent la valeur de l'immeuble,

elles entraînent en principe une augmentation de la valeur de l'immeuble soumise à l'impôt sur la fortune. L'accroissement de la valeur de l'immeuble découlant des dépenses d'investissement viendra en outre en déduction du gain immobilier à imposer en cas de vente de l'immeuble.

c. Frais d'entretien privés du contribuable

Les dépenses d'entretien de la fortune immobilière doivent être distinguées de celles qui servent à l'entretien privé du contribuable et de sa famille, ou à la couverture de son train de vie, ces dernières n'étant pas déductibles. Il s'agit ici de dépenses de consommation ou d'utilisation du revenu. Constituent généralement de telles dépenses d'entretien privé, les frais de logement du contribuable, notamment les frais annexes au loyer, tels que les frais d'eau chaude, d'électricité et de chauffage, etc.

2. Fiscalité des dépenses immobilières qualifiées d'investissements destinées à économiser l'énergie et à ménager l'environnement ainsi que les frais de restauration des monuments historiques

Le législateur ne respecte pas toujours la classification générale développée ci-dessus, puisque certaines dépenses d'investissement qui ne devraient en principe pas être déductibles au titre de l'impôt sur le revenu peuvent, à certaines conditions, être qualifiées malgré tout de dépenses déductibles. Il en va ainsi des dépenses d'investissement d'économie d'énergie, à l'instar de certaines dépenses de restauration

de monuments historiques: il s'agit là d'un traitement privilégié à des fins de politique fiscale qui constituent des mesures incitatives pour les contribuables leur permettant de bénéficier de déductions malgré leur caractère d'investissement.

a. Investissements destinés à économiser l'énergie et à ménager l'environnement

i. Impôt sur le revenu

Les dépenses d'économie d'énergie et de protection de l'environnement **sur un bâtiment existant** (et non lors de la construction d'un bâtiment ou d'une rénovation analogue) sont fiscalement déductibles, **pour autant qu'elles ne soient pas couvertes par une subvention**. Cette catégorie de dépenses comprend les frais encourus en vue de **rationaliser la consommation d'énergie** ou de **recourir aux énergies renouvelables**. Ces dépenses consistent généralement en des **investissements** dans le remplacement d'éléments de construction ou d'installations, pas forcément vétustes, voire en l'adjonction d'éléments de construction ou d'installations **dans les bâtiments existants**, qui déclenchent en principe une **augmentation de la valeur de l'immeuble**. Techniquement, de telles dépenses ne devraient donc pas être déductibles. Toutefois, en vertu d'une base légale expresse, ces investissements sont qualifiés de dépenses déductibles, **en raison de leur but**. Si les coûts ne peuvent pas être entièrement déduits durant l'année au cours de laquelle ils ont été engagés, la déduction de ces dépenses peut, sous certaines conditions, être reportée les deux années fiscales suivantes au plus.

ii. Impôt sur la fortune

Une mesure d'économie d'énergie se traduit par une réorganisation du patrimoine: elle diminue les ressources financières d'un côté et augmente, en principe, la valeur du bien immobilier de l'autre. La pratique des cantons diffère toutefois en la matière. Dans le canton de Genève, par exemple, la pratique en vigueur jusqu'à fin 2021 consistait à qualifier d'office les dépenses à caractère écologique d'investissements augmentant la valeur de l'immeuble. Désormais, à compter du 1er janvier 2022, l'autorité examinera si les dépenses constituent ou pas des investissements à plus-value augmentant la valeur fiscale de l'immeuble pour l'impôt sur la fortune. Si ces dépenses peuvent être assimilées à des frais d'entretien, elles n'influenceront pas la valeur fiscale de l'immeuble. En revanche, s'il s'agit d'investissements à plus-value, ils augmenteront la valeur fiscale de l'immeuble soumise à l'impôt sur la fortune.

iii. Impôt sur les gains immobiliers

Les coûts liés à la **construction d'un bâtiment** ou d'une rénovation analogue ne sont pas déductibles du revenu imposable. Ces dépenses appartiennent à la catégorie des dépenses d'investissement, qui viendront en déduction du gain immobilier à imposer lorsque l'immeuble sera vendu.

Pour les coûts d'investissement **encourus sur un bâtiment existant**, la pratique des cantons diffère sur la possibilité d'invoquer et mettre en compte deux fois la même dépense, dans le sens d'une double déduction, d'une part en tant que dépense déductible pour l'impôt sur le revenu et (ultérieurement) en tant que dépense

accroissant le prix de revient de l'immeuble déductible pour le calcul de l'impôt sur les gains immobiliers. À titre d'exemple, les autorités genevoises acceptent, en principe, la double déduction dans le cas où la dépense est qualifiée de plus-value.

b. Frais de restauration de monuments historiques

Ces dépenses sont fiscalement déductibles, à la condition que ces travaux (i) correspondent bien à des travaux de **restauration**, (ii) portent sur des monuments historiques, (iii) soient entrepris par le contribuable en vertu de **dispositions légales**, (iv) en **accord avec les autorités** ou sur leur ordre, et (v) ne soient **pas couverts par une subvention**. Ces conditions doivent être **cumulativement** remplies. Il n'est pas suffisant que les travaux aient été entrepris avec l'accord du canton ou de l'autorité. Il faut en outre qu'il y ait une base légale prévoyant le travail de restauration (cf. la loi cantonale genevoise sur la protection des monuments, de la nature et des sites). Si les conditions légales sont toutes remplies, des règles spéciales s'appliquent à ces dépenses, puisqu'elles sont alors **intégralement déductibles**. En particulier, on ne fait aucune analyse de l'impact des travaux sur la valeur de l'immeuble, de sorte que **même les travaux d'investissement** apportant une **plus-value** à l'immeuble (totale ou partielle) sont intégralement déductibles.

S'agissant des impôts sur la fortune et sur les gains immobiliers, les mêmes considérations que celles développées ci-dessus pour les investissements destinés à économiser l'énergie et à ménager l'environnement s'appliquent.

3. Projet de réforme fédérale de l'imposition du logement

Une initiative parlementaire a été déposée en février 2017, (éventuelle entrée en vigueur en 2024), visant un changement de système d'imposition du logement principal destiné à l'usage personnel, lequel supprimerait notamment de l'imposition la valeur locative y relative (les résidences secondaires ne sont, à ce stade, pas concernées par le projet de réforme). Le renoncement à imposer la valeur locative aurait pour corollaire la non-déductibilité des frais d'entretien des immeubles, ceux-ci n'étant par définition déductibles qu'à la condition de correspondre à des frais d'acquisition de revenus imposables.

Pour les déductions relatives aux mesures visant à économiser l'énergie et les travaux de restauration de monuments historiques, une distinction doit être faite. S'agissant de la première catégorie, la possibilité de déduire fiscalement ces frais devrait être maintenue au niveau cantonal, mais abrogée au niveau fédéral et ce, tant pour les résidences principales, qui sont l'objet de la réforme, que pour les résidences secondaires, qui en sont exclues. S'agissant de la deuxième catégorie, le régime fiscal actuel demeurerait applicable, de sorte que ces frais resteraient déductibles des revenus imposables au niveau fédéral et la possibilité de déduction subsisterait au niveau cantonal.

II. SUBVENTIONS DANS LE CANTON DE GENÈVE

1. Aides financières pour l'amélioration énergétique et les énergies renouvelables

Le Département du territoire développe la stratégie de transition énergétique. Les projets contribuant à cette transition sont encouragés financièrement par diverses mesures, dont notamment des subventions pour favoriser les rénovations et optimisations. Le montant des subventions et les conditions d'octroi sont spécifiques à la nature des dépenses envisagées, lesquelles peuvent se subdiviser en 8 catégories: (1) diagnostic et accompagnement, (2) enveloppe thermique, (3) installations techniques, (4) rénovation globale, (5) certification, (6) réseaux thermiques, (7) projets stratégiques et (8) formation, information et conseil.

Les travaux en lien avec la demande de subvention ne peuvent débiter qu'à la réception de la décision de subvention et le montant octroyé ne peut, en principe, pas dépasser 50% du coût des travaux en lien avec la demande de subvention. Les travaux doivent généralement avoir été réalisés dans les 24 mois à compter de l'entrée en force de la décision d'octroi de la subvention et l'autorité compétente se réserve le droit de procéder en tout temps à des contrôles des objets pour lesquels une subvention est octroyée.

2. Aides financières pour un bâtiment protégé

La première étape pour déposer une demande de subvention consiste à prendre rendez-vous avec l'architecte chargé de l'instruction des dossiers de subventionnement. Celui-ci mènera une visite du bâtiment avant travaux pour obtenir des informations sur le type d'interventions projetées. Pour obtenir une aide financière pour la restauration ou la conservation d'un

bâtiment, celui-ci doit répondre aux conditions suivantes:

- le bâtiment concerné doit être au bénéfice d'une mesure de protection;
- la subvention ne peut être accordée qu'aux travaux ayant obtenu une autorisation de construire ou un préavis favorable du service des monuments et des sites;
- cette aide est conditionnée aux montants disponibles alloués par le budget de l'État.

3. Fiscalité des subventions

Les aides à l'investissement dans des mesures d'économie d'énergie réalisées sur du bâti ainsi que les aides financières pour bâtiment protégé constituent en principe du revenu imposable, tandis que le coût d'investissement est déductible du revenu. En fin de compte, c'est donc la différence entre le montant de la subvention et les frais d'investissement totaux qui est déductible des revenus.

Les aides à l'investissement dans des mesures d'économie d'énergie réalisées dans le cadre de la construction d'un bâtiment ou d'une rénovation analogue ne sont quant à elles pas assujetties à l'impôt sur le revenu, mais seront déduites des dépenses d'investissement dans le cadre de l'imposition du gain immobilier qui sera réalisé à la vente du bâtiment.

Me Nicolas Merlino, avocat
Me Nicolas Moreno, avocat
Étude Poncet Turrettini, Genève



Pour plus d'informations

ADRESSES UTILES

Office cantonal de l'énergie (OCEN)
Puits-Saint-Pierre 4 | Case postale 3920
CH-1204 Genève
022 327 93 60
ocen@etat.ge.ch
www.ge.ch/energie

Office du patrimoine et des sites (OPS)
Rue David-Dufour 1 | Case postale 22
CH-1205 Genève
022 546 60 90
ops@etat.ge.ch
www.ge.ch/dossier/patrimoine-genevois

Ces deux offices font partie d'un seul et même département, celui du territoire (DT).

energie-environnement.ch
Plate-forme d'information des services de l'énergie et de l'environnement des cantons de Berne, Fribourg, Genève, Jura, Neuchâtel, Valais et Vaud: une mine d'or de renseignements, exhaustive et didactique.

Rue Du-Roveray 16
CH-1207 Genève
022 809 40 59

chauffezrenouvelable.ch
Une émanation de l'OFEN (programme SuisseEnergie), proposant entre autres un «calculateur des coûts de chauffage» et d'émissions de CO₂ très complet.

energie-bois.ch
Organisation faîtière de la filière suisse du bois de chauffage.

swissolar.ch
Organisation faîtière de l'industrie solaire suisse.

negawatt.org | negawattsuisse.org
NégaWatt est une association indépendante de spécialistes des milieux énergétiques et environnementaux, dont l'action vise à promouvoir notamment la sobriété énergétique, en complément des mesures d'efficacité.

klimaoffensive.ch
Le site de la «campagne climat et culture du bâti», soutenue entre autres par Patrimoine suisse et Domus Antiqua Helvetica, ou comment réussir la transition énergétique sans attenter aux qualités du cadre bâti et paysager, voire en les renforçant.

energie-patrimoine.ch
Le site du forum énergie et patrimoine, une initiative revenant à la section vaudoise de Patrimoine suisse. Il contient une bonne part des publications données ci-après, qui peuvent y être librement téléchargées.

PUBLICATIONS

OFFICE FÉDÉRAL DE L'ÉNERGIE (OFEN)
Rénovation énergétique. Guide pour les maîtres d'ouvrage.
Office fédéral de l'énergie (OFEN) Bern, 2010

DOMUS ANTIQUA HELVETICA
Energie in historischen Wohnbauten.
Domus Antiqua Helvetica, Sektion Raetia. Chur, 2011

Collectif
Energétique du patrimoine. in: d'architectures.
SEA innovapresse. Paris, 2012

MOERI Siegfried, WOHLLEBEN Marion & al.
Energie und Baudenkmal. Ein Handbuch. Gebäudehülle.
Kantonale Denkmalpflege Bern & Zürich
Bern, Zürich, 2014

MOERI Siegfried, WOHLLEBEN Marion & al.
Energie und Baudenkmal. Ein Handbuch. Haustechnik.
Kantonale Denkmalpflege Bern & Zürich
Bern, Zürich, 2014

KUNZ, Gerold
Strategien im Bereich Energie und Baudenkmal für Denkmalpflegestellen der Schweiz.
Stiftung zur Förderung der Denkmalpflege
Zürich, 2015

OFFICE FÉDÉRAL DE LA CULTURE (OFC) & OFFICE FÉDÉRAL DE L'ÉNERGIE (OFEN)
Patrimoine et énergie. Concilier bâti historique et exigences en matière de consommation d'énergie.
Office fédéral de la culture (OFC) & Office fédéral de l'énergie (OFEN) Bern, 2015

PATRIMOINE SUISSE
Patrimoine bâti et énergie. Approche globale. in: Série Patrimoine.
Patrimoine suisse / Schweizer Heimatschutz. Zürich, 2015

SCHWAB Stefanie & al.
Rénovation énergétique. Approche globale pour l'enveloppe du bâtiment (eREN).
HEIA-FR, Institut TRANSFORM, HEPIA-GE, Institut inPACT
Fribourg, 2016

COMMISSION FÉDÉRALE DES MONUMENTS HISTORIQUES
Énergie et monuments historiques.
Commission fédérale des monuments historiques, Bern, 2018

COMMISSION DES MONUMENTS, DE LA NATURE ET DES SITES (CMNS)
Isolation thermique dans les bâtiments protégés ou situés en zone protégée: méthodologie d'intervention.
Office du patrimoine et des sites (OPS) Genève, 2018

Fenêtres

Collectif
Les fenêtres, vues sur un patrimoine. in: patrimoine et architecture.
infolio. Gollion, 2008

MOERI Siegfried, WOHLLEBEN Marion & al.
Energie und Baudenkmal. Ein Handbuch. Fenster und Türen.
Kantonale Denkmalpflege Bern & Zürich. Bern, Zürich, 2014

ORTELLI Luca & al.
Assainissement de fenêtres. Immeubles d'habitation 1850-1920.
EPFL, Laboratoire de construction et conservation. Lausanne, 2014

CAMPONOVO Reto & al.
Fenêtres. Guide de bonnes pratiques.
Office du patrimoine et des sites (OPS) & Office cantonal de l'énergie (OCEN) Genève, 2015

COMMISSION FÉDÉRALE DES MONUMENTS HISTORIQUES
Les fenêtres dans les bâtiments historiques.
Commission fédérale des monuments historiques. Bern, 2018

Collectif
La fenêtre dans l'architecture: connaissance, conservation et restauration. in: monumental.
Éditions du patrimoine
Centre des monuments nationaux Paris, 2020

Solaire

MOERI Siegfried, WOHLLEBEN Marion & al.
Energie und Baudenkmal. Ein Handbuch. Solarenergie.
Kantonale Denkmalpflege Bern & Zürich. Bern, Zürich, 2014

CAMPONOVO Reto & al.
La planification solaire globale, une démarche au service de la transition énergétique et d'une culture du bâti de qualité.
HEPIA-GE, Laboratoire énergie, environnement & architecture Genève, 2018

CAMPONOVO Reto & al.
Culture solaire. Concilier énergie solaire et culture du bâti.
Office fédéral de la culture (OFC) Bern, 2019

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES AND ARTS OF SOUTHERN SWITZERLAND (SUPSI) & BECQUEREL INSTITUTE
Building Integrated Photovoltaics: A practical handbook for solar buildings' stakeholders.
University of Applied Sciences and Arts of Southern Switzerland (SUPSI) Canobbio, 2020

XX^e siècle

GRAF Franz, MARINO Giulia & al.
La cité du Lignon 1963-1971. Etude architecturale et stratégies d'intervention. in: patrimoine et architecture.
infolio. Gollion, 2012

Low-tech & bioclimatique

GUISAN Françoise & Olivier
Notre maison écologique. Rêver Réaliser Partager.
Publi-Libris. Bex, 2007

SIA, STADT ZÜRICH, SUISSE ÉNERGIE
La modération, gage de qualité? La sobriété dans l'espace bâti. in: TEC21/Tracés.
Société des éditions des associations techniques universitaires (SEATU) Zürich, 2013

RAHM Philippe
Histoire naturelle de l'architecture.
Pavillon de l'Arsenal. Paris, 2020

HESCHONG Lisa
Architecture et volupté thermique.
Parenthèses. Marseille, 2021

Économie

BAK ECONOMICS AG
L'importance économique du patrimoine bâti en Suisse: état des lieux.
BAK Economics AG. Basel, 2020

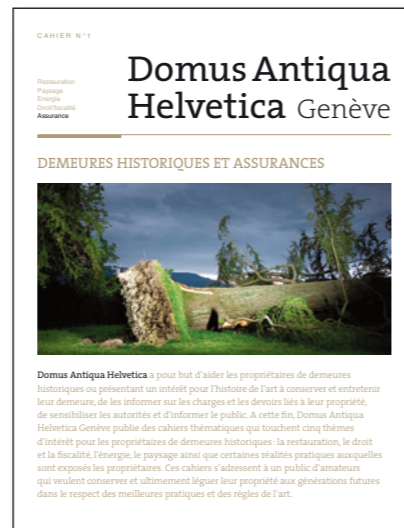
Résumés des Cahiers pratiques précédents

CAHIER PRATIQUE N°1 DEMEURES HISTORIQUES ET ASSURANCES (Octobre 2011)

Les propriétaires de demeures historiques ont la volonté de maintenir leur bien immobilier dans la durée. En d'autres termes, il s'agit de les conserver, de les entretenir et de les rénover si nécessaire. «Gouverner, c'est prévoir», prétendait Emile de Girardin.

Il en va de même de la propriété immobilière: il faut prévoir. Mais les aléas du sort en décident parfois autrement.

Et les assurances sont justement là pour prévenir les situations probables, mais incertaines. Avec ce cahier dédié aux «Assurances», Domus Antiqua Helvetica Genève offre un aperçu de ce que les assurances peuvent offrir aux propriétaires d'une demeure historique: le cadre réglementaire et les différents risques assurables et à assurer. Mais surtout, nous souhaitons partager les principales causes de sinistres, les parades possibles, ainsi que certaines leçons, tirées d'expériences de propriétaires et d'exemples concrets, pour «être assuré d'être bien assuré».



CAHIER PRATIQUE N°2 DEMEURES HISTORIQUES ET NORMES DE PROTECTION (Février 2013)

Le classement, la mise à l'inventaire, le plan de site...

Autant de mesures qui suscitent pour le propriétaire d'une demeure historique à la fois fierté de la reconnaissance publique mais souci d'être privé de la libre disposition de son bien.

Ce deuxième cahier sur les mesures de protection des demeures historiques poursuit un double objectif: d'une part, détailler ce qu'on entend par ces différentes mesures de protection légales. D'autre part, en expliciter les effets pour un propriétaire.

Pour le propriétaire suspicieux d'ingérence étatique dans la libre disposition de son bien, classement et mise à l'inventaire peuvent rimer avec mauvaise nouvelle. Le Comité de Domus Antiqua Genève est d'avis qu'il ne doit pas en être, dans tous les cas, ainsi.

«Dans toute société, le patrimoine se reconnaît au fait que sa perte constitue un sacrifice et que sa conservation suppose des sacrifices», écrivait André Chastel.

Dès lors, il appartient à chacun de conserver son bien, dans un esprit de partenariat avec l'Etat et ses instances, sans soumission ni esprit contestataire, mais avec le souci partagé de transmettre à la prochaine génération un bien embelli de manière juste et respectueuse.



CAHIER PRATIQUE N°3 DEMEURES HISTORIQUES, «PAYSAGE ET NATURE» (Septembre 2015)

Le thème du Paysage est à la fois vaste par sa thématique et fortement local par son emprise.

Quand il s'agit de «nature de proximité», chacun a sa version qui lui correspond le mieux: l'architecture paysagère, les plantes, les arbres ou encore les prairies sauvages.

Nous avons souhaité aborder cette thématique en apportant notre réponse à la question suivante: Qu'est-ce que le paysage pour une demeure historique?

Nous avons pris le parti d'analyser ce sujet en retenant huit éléments structurants du paysage que sont les arbres, les vergers à haute-tige, les bois et forêts, les haies vives, les surfaces herbeuses, l'eau, l'agriculture, et enfin certains éléments construits.

Chaque élément de ce paysage est interprété pour lui-même, mais aussi en fonction d'un ensemble historique qu'il intègre. De plus, l'appartenance locale, genevoise, est déterminante. Notre paysage est bien différent d'un autre paysage suisse. Nous avons essayé de relever la singularité de chaque élément constituant du paysage.

Enfin, parce que concevoir, aménager ou entretenir de tels éléments du paysage est onéreux, nous avons souhaité, comme pour chacun de nos cahiers, proposer des pistes pour obtenir des aides publiques ou privées, de même que fournir des indications d'ordre fiscal.

Ainsi, nous espérons pouvoir contribuer à impliquer chaque propriétaire dans cette responsabilité citoyenne qu'est la préservation d'un paysage de qualité, entretenu dans le respect de l'histoire et dans un souci de durabilité.



CAHIER PRATIQUE N°4 DEMEURES HISTORIQUES: LA TRANSMISSION (Octobre 2017)

Le propriétaire d'une demeure historique est en général une personne heureuse mais soucieuse. Heureuse car c'est une chance d'habiter un endroit qui se distingue par son histoire et souvent sa beauté. Mais soucieuse parce que ce privilège se traduit aussi en sacrifices (de temps, d'énergie, d'argent, de confort parfois) et qu'ainsi, inévitablement, le propriétaire se demande qui, après lui, pourra et voudra bien les assumer. Posséder une demeure historique, c'est donc, intrinsèquement, s'interroger sur sa transmission.

Il n'y a pas de panacée en la matière. Chaque demeure comporte en effet des caractéristiques propres, inapplicables à un autre immeuble, et les solutions qui conviennent à une famille peuvent être inadaptées à une autre, ou simplement lui déplaire.

Le quatrième Cahier de DAH Genève s'efforce d'affiner les questions qui doivent être posées, afin d'aider chaque

propriétaire à clarifier ses idées, discerner des perspectives, mesurer certains risques et se forger son avis personnel. La transmission y est examinée sous plusieurs angles:

- L'immeuble: est-il fractionnable? peut-on le valoriser? quelle est l'importance de son contenu mobilier?
- La famille propriétaire: quels repreneurs envisager? quel mode d'organisation prévoir entre eux? et quelle compensation pour les autres membres de la famille?
- Le temps: quand commencer la réflexion? quand transmettre la propriété? quand indemniser les «sortants»? et quand fixer les règles applicables?
- Le cadre contraignant: à quelles réserves de droit successoral faut-il obéir? à quelles autres restrictions légales? et quelle taxation fiscale doit-on craindre?

Pour illustrer cet inventaire apparemment austère, le Cahier présente plusieurs cas concrets de transmission de grandes demeures genevoises, rendus vivants grâce aux interviews et commentaires personnels des propriétaires.



Remerciements

Domus Antiqua Genève souhaite remercier les principaux contributeurs de cette publication:

Ce cahier a été conçu, élaboré et rédigé par Monsieur Aleksis Dind, architecte EPFL à Montreux. Il a su à la fois cibler la problématique avec une grande maîtrise de ce sujet très technique et faire œuvre de vulgarisation, en présentant un vade-mecum des options qui se présentent aux propriétaires de demeures historiques.

Le comité tient en particulier à remercier Madame Marie-Christine Streuli, présidente du Groupe Énergie de Domus Antiqua Genève, qui par sa persistance et sa détermination a rendu possible l'existence de ce cahier.

Notre gratitude va aussi à Madame Babina Chaillot Calame de l'OPS et à Monsieur Emile Spierer de l'OCEN pour leur contribution conjointe, de même qu'à Me Nicolas Merlino et Me Nicolas Moreno, avocats, pour leur brillante analyse quant à la fiscalité dans ce domaine. Nos vifs remerciements également aux propriétaires, architectes et photographes ayant mis à disposition la documentation relative à leurs réalisations.

L'auteur tient encore à remercier Madame Carine Dind-Dunand, historienne UNIL, Monsieur Frédéric Frank, professeur à la HES-SO, Monsieur Frédéric Haldi, physicien du bâtiment et membre de la CMNS, ainsi que Madame Maria Cristina Munari Probst, experte en techniques solaires à l'EPFL, pour leur relecture et leurs conseils avisés dans leurs domaines spécifiques.

Et, *last not but least*, Monsieur Pascal Bolle, graphiste, pour son professionnalisme et sa collaboration toujours appréciée dont la très belle mise en page est le résultat tangible.

Ce cahier est dédié à la mémoire de Monsieur Dominique Micheli, co-fondateur de Domus Antiqua Helvetica Genève.

Les Cahiers pratiques peuvent être consultés,
téléchargés et commandés sur le site
www.domusgeneve.ch

Impressum

Conception, rédaction, édition

Aleksis Dind, architecte EPFL
atelier kalk architecture sàrl
kalk-architecture.ch

Maquette et mise en page

Pascal Bolle, graphiste
Atelier La Fonderie
lafonderie.ch

Comité éditorial

Jean Keller
François Micheli
Marie-Christine Streuli

Photo de couverture

domaine Micheli, Landecy
Olivier Wavre, photographe
oooliwave.com

Impression

Atar Roto Presse SA
Vernier-Genève
Juin 2022 | 2'000 exemplaires

Éditeur

© Domus Antiqua Helvetica Genève
Tous droits de reproduction réservés pour tous supports et tous pays.

Les informations données et fournies dans le présent cahier sont communiquées à titre indicatif uniquement, et ne sauraient en aucun cas engager la responsabilité de Domus Antiqua Helvetica Genève ou de ses représentants.

Domus Antiqua Helvetica Genève

Membres du comité

Rémy Best (Président)

Henri Barbier-Mueller

Jacques de Saussure

Jean Keller

François Micheli

Ariane Micheli Lardy

Charles Sarasin

Marie-Christine Streuli

Arnaud Tchéraz

Cosima Trabichet-Castan

Costin van Berchem

www.domusgeneve.ch



FSC
www.fsc.org

MIXTE

Isau de sources
responsables

FSC® C008839