



Peter Schürch | Dieter Schnell

Rénovation

La transformation durable



suisse énergie
Notre engagement : notre futur.



Conférence des directeurs
cantonaux de l'énergie



Contenu

La reconstruction au 21 ^e siècle	3
1. Objectifs de la rénovation – transformation durable	13
2. Évaluation architecturale	23
3. Analyse	27
4. Processus de planification, stratégie et communication	33
5. Durabilité économique	37
6. Enveloppe du bâtiment	43
7. Protection phonique	63
8. Structure porteuse	69
9. Sites contaminés, matériaux de construction toxiques, concepts de matériaux, séparation des systèmes	77
10. Sécurité et protection incendie	85
11. Concepts énergétiques	89
12. Production de chaleur et approvisionnement en électricité	99
13. Espace extérieur	111
14. Exemples	117
15. Annexe	167

Impressum

Rénovation – La transformation durable

Auteurs: Peter Schürch et Dieter Schnell, Haute école spécialisée bernoise, Haute école pour l'architecture, le bois et la construction; avec des contributions de Martin Aeberhard, Alfred Breitschmid, Klaus Eichenberger, Daniel Ernst, Urs-Thomas Gerber, Patrick Hertig, Niklaus Hodel, Philippe Lustenberger, Hansruedi Meyer, Heinz Mutzner, Maurus Schifferli, Martin Stocker, Jürg Tschabold et Violanta von Gunten.

Lectorat et mise en page:
Faktor Journalisten AG, Zurich;
Othmar Humm, Christine Sidler

Traduction:
Messerknecht Traductions spécialisées,
Monthey; Ilsegret Messerknecht

Lectorat: Charles Weinmann, Lausanne

Photo de couverture: Rénovation et surélévation d'un immeuble d'habitation à Bâle, par sim Architekten (Photo: Remo Zehnder)

Cette publication fait partie de la série d'ouvrages spécialisés «Construction durable et rénovation». Cette publication a été financée par l'Office fédéral de l'énergie OFEN/SuisseEnergie et la Conférence des directeurs cantonaux de l'énergie (EnDK).

Commande: À télécharger gratuitement sous www.energieschweiz.ch

2^e version actualisée, janvier 2021

La reconstruction au 21^e siècle

Dieter Schnell
Peter Schürch

Jusqu'au début du 20^e siècle, il était tout à fait courant et naturel de transformer, d'agrandir ou d'adapter un bâtiment ou l'adapter à de nouveaux besoins. D'une part, en présence de nouveaux besoins en termes d'espace, la situation économique ne permettait généralement pas d'envisager une démolition puis une reconstruction, les seules options possibles étant d'agrandir et de compléter l'existant. D'autre part, réutiliser sciemment et de manière ciblée des bâtiments traditionnels était semble-t-il devenu une pratique très courue.

Sous l'impulsion révolutionnaire de l'architecture moderne, développée après la première Guerre mondiale, la rénovation-transformation perdit tout attrait aux yeux des architectes, qui ne l'envisagèrent plus qu'à contrecœur. C'est ainsi que l'ancienne tradition de la reconstruction de qualité se perdit, les architectes abandonnant le terrain aux maîtres d'ouvrage et aux dessinateurs en bâtiment. De ce fait, une procédure qui était à l'origine bien entendu l'apanage des architectes, dont certains de grand renom, doit aujourd'hui être redécouverte, comme un nouveau et difficile défi à relever.

Dans un contexte d'amenuisement des ressources, de changement climatique, de nouvelles tendances sociales et prescriptions légales, mais également d'exigences croissantes en matière de confort, les propriétaires se doivent aujourd'hui d'entretenir leur bâtiment en anticipant sur l'avenir et de l'adapter progressivement aux exigences de qualité plus strictes de demain. Dans ces circonstances, la rénovation – transformation n'est plus une simple adaptation dans l'urgence d'un bâtiment vieillissant, succession dès le début de compromis douteux, mais un véritable défi qui exige des architectes, tout d'abord, une compréhension globale de l'existant, puis la maîtrise totale des techniques et prescriptions actuelles en matière de développement durable, et

enfin une grande capacité d'innovation. Ce devoir d'innovation résulte, premièrement, d'exigences élevées en matière de durabilité des bâtiments, deuxièmement du caractère unique de chaque projet et troisièmement de l'aspect esthétique que doit malgré tout revêtir tout concept de rénovation – transformation. Car il est évident que les constructions peu attrayantes ou défigurées par des interventions ultérieures perdent non seulement de la

valeur, mais ont également besoin beaucoup plus rapidement d'une rénovation. Dans ce livre, nous nous efforcerons de donner un aperçu général de ce thème; il ne s'agit pas de partager les dernières actualités relatives à certains sujets. Cet ouvrage n'est pas non plus un livre de recettes qui expliquerait comment jongler avec les différentes normes et prescriptions. Il s'agit bien davantage d'un aperçu des grandes questions socioculturelles, méthodiques, économiques, écologiques, techniques et physiques, qui doivent se poser à la fois dans la situation de départ et pour le concept planifié.

Le principe méthodique de base le plus important est le travail d'équipe. Celui-ci n'est pas seulement sans cesse brigué et recommandé comme une mesure permettant de garantir la réussite du projet, mais s'applique bien entendu également à ce livre. Les chefs de projet et principaux auteurs enseignent ensemble depuis plusieurs années à des étudiants en architecture, à la Haute école spécialisée bernoise de Berthoud. Le terme «ensemble» peut même être pris au pied de la lettre, puisque dans cette école, de très nombreux cours sont donnés en équipe, favorisant ainsi les débats interdisciplinaires. La plupart des auteurs mis à contribution pour la rédaction des chapitres techniques

«L'homme a une mission pour arrêter de détruire et veiller à rétablir la biodiversité sur terre, sinon le futur de la vie est compromis, non seulement pour les espèces, mais aussi pour les humains qui sont liés à la biodiversité.»

Edward O. Wilson, biologiste

proviennent du contexte de ces cours de formation architecturaux et appartiennent ainsi, en dehors même du projet relatif à cet ouvrage, au champ élargi de la collaboration interdisciplinaire. Certains chapitres sont en outre signés par plusieurs auteurs qui, toujours avec un bagage technique différent, ont travaillé sur le texte en étroite collaboration.

La structure du livre vise d'une part à mettre en parallèle des éléments analytiques, méthodiques et techniques et à les traiter équitablement, et d'autre part à classer les thèmes dans un ordre qui restitue pour l'essentiel l'ordre des questions qui se posent dans le cadre d'un projet concret de rénovation – transformation: Au début, il y a l'analyse, puis les méthodes et enfin les thèmes techniques relatifs à la construction. Le livre s'achève sur douze exemples représentatifs de projets courants qui, sauf éventuels petits points faibles susceptibles de survenir partout, peuvent être considérés comme des solutions positives et réussies.

La rénovation – transformation des bâtiments existants exige, avec les objectifs actuels, de nouveaux concepts globaux et des projets appropriés. Ces concepts doivent présenter l'ouverture et la flexibilité requises pour permettre à tout moment de réagir à d'éventuelles évolutions. Aujourd'hui, il est primordial de procéder à une analyse précise, à une estimation du gros œuvre, également des valeurs immatérielles, et à un diagnostic détaillé des constructions, en tenant compte de l'environnement et de l'aménagement des espaces extérieurs. C'est à partir de là que doivent être identifiés les aspects économiques, sociaux, énergétiques, techniques et architecturaux pertinents et que doivent être développées des solutions novatrices, globales, durables, et pourquoi pas radicales. Et cela nécessite des concepts cohérents, si possible sous forme de variantes, qui répondent aux objectifs spécifiques du projet.

Les constructions doivent être considérées dans leur intégralité. Elles doivent être planifiées et réalisées en garantissant une haute qualité architecturale, dans le respect de l'existant, au besoin en perfectionnant des modes de

construction traditionnels ou régionaux, mais toujours en tenant compte des aspects essentiels sur le plan social. Cette approche globale exige des planificateurs qu'ils consentent à intégrer des critères supplémentaires, de nouveaux processus, des conditions de départ spécifiques et qu'ils s'ouvrent à un travail en équipe.

Un bâtiment ancien est déjà un système différencié, qui réagit de façon ultrasensible à la moindre modification. Il est d'autant plus important que la réflexion et la planification soient adaptées aux caractéristiques de l'objet existant.

Le présent ouvrage est la deuxième édition. Après huit ans, le texte originel de 2011 a été entièrement revu et révisé soit par les auteurs de l'époque, soit, lorsque cela n'a pas été possible, par des spécialistes du domaine. Alors que certains chapitres sont restés les mêmes ou presque, d'autres ont beaucoup changé. La collection d'exemples ne contient que des objets nouveaux.

«Le bâtiment à reconstruire doit être considéré en premier lieu dans son contexte local. Cette approche permet d'éviter les modes architecturaux et les solutions inappropriées. Construire dans ce contexte soulève toujours la question du changement et du développement de nouveaux types de bâtiments dans le cadre d'un engagement volontaire respectant les conditions déjà existantes liées à l'emplacement. Les topos et les types étaient et sont toujours les sources originelles de la forme architecturale.»

Gion Caminada

Variantes envisageables

Peter Schürch Notre objectif premier est de promouvoir une architecture contemporaine et haut de gamme, capable de satisfaire aux différents critères de construction urbaine, d'espace et d'architecture tout en respectant les postulats en matière de développement durable. La norme SIA 112/1 Construction durable – Bâtiment, un document explicatif de la norme SIA 112, aide les maîtres d'ouvrage et les architectes à ancrer le thème de la durabilité dans le processus de planification, ceci de façon complète et en respectant les étapes. Les buts spécifiques du projet tenant compte des critères énumérés, définis conjointement par le maître d'ouvrage et le planificateur, peuvent également servir de base pour d'autres projets de construction. Cette norme est un instrument méthodologique et peut être, le cas échéant, complétée avec notamment les critères des labels de la SGNB, DGNB, LEED. Le respect des critères de durabilité et de leurs objectifs est un impératif actuel, ce qui n'empêche en rien une «bonne» architecture. Au contraire, la norme SIA 112/1, appliquée de manière cohérente dans le processus de planification, contribue à la profondeur et à l'ampleur des projets et permet de réfléchir plus précisément à de nombreux aspects. Les planificateurs doivent faire preuve de créativité et de sensibilité vis-à-vis de l'existant, et doivent mettre au point un projet cohérent et convaincant tout en respectant les différentes exigences. Grâce à la norme SIA 112/1, le projet prend en considération les paramètres sur le plan structurel, local, fonctionnel et social, ce qui contribue à augmenter grandement la qualité. Une bonne architecture résulte également d'un processus interdisciplinaire. Les précieux témoins architecturaux de notre Histoire et ancrant notre identité, avec leurs qualités spatiales complexes, doivent être transformés, voire complétés, avec la plus grande précaution. Il faut faire appel à des connaissances spécialisées en matière d'efficacité énergétique des bâtiments, ainsi qu'aux questions de mobilité, de bonne

combinaison d'utilisations ou d'objectifs globaux dans le développement urbain ou l'aménagement du territoire. Il n'est pas rare de trouver un avantage supplémentaire qui va au-delà de l'accomplissement effectif de la tâche en question.

Planification et ouverture d'esprit

Les concepts doivent présenter la visibilité et la flexibilité requises pour permettre à tout moment de réagir à d'éventuelles évolutions. Afin que ces prestations requises puissent être intégrées dans un système éventuellement surdéterminé et ce, même dans la rénovation – transformation de tous les jours, il faut attribuer plus d'importance à cette compétence globale de planificateur. Tous les problèmes qui se posent ne peuvent pas être résolus au sein d'un même projet, ce qui représente un défi énorme pour les concepteurs architecturaux d'aujourd'hui. Il faut donc définir des priorités en toute conscience, déterminer précisément les conditions de départ et avoir le courage de s'attaquer aux lacunes. Un projet ou un concept se développe à partir d'objectifs prédéterminés et de réflexions architecturales:

- Comment réaliser une rénovation – transformation du bâtiment sans rien détruire de précieux?
- Les bâtiments anciens font partie de notre Histoire et de notre culture et ne doivent pas disparaître derrière des couches d'isolant.
- Quels sont les concepts et constructions envisageables pour l'enveloppe du bâtiment?
- Quelles sont les interventions appropriées en termes d'aménagement de l'espace?
- Quel est le concept architectural porteur, l'idée déterminante?
- Une construction nouvelle de remplacement est-elle une solution possible?
- Qu'est-ce qu'une rénovation – transformation peut fournir de plus qu'une reconstruction?

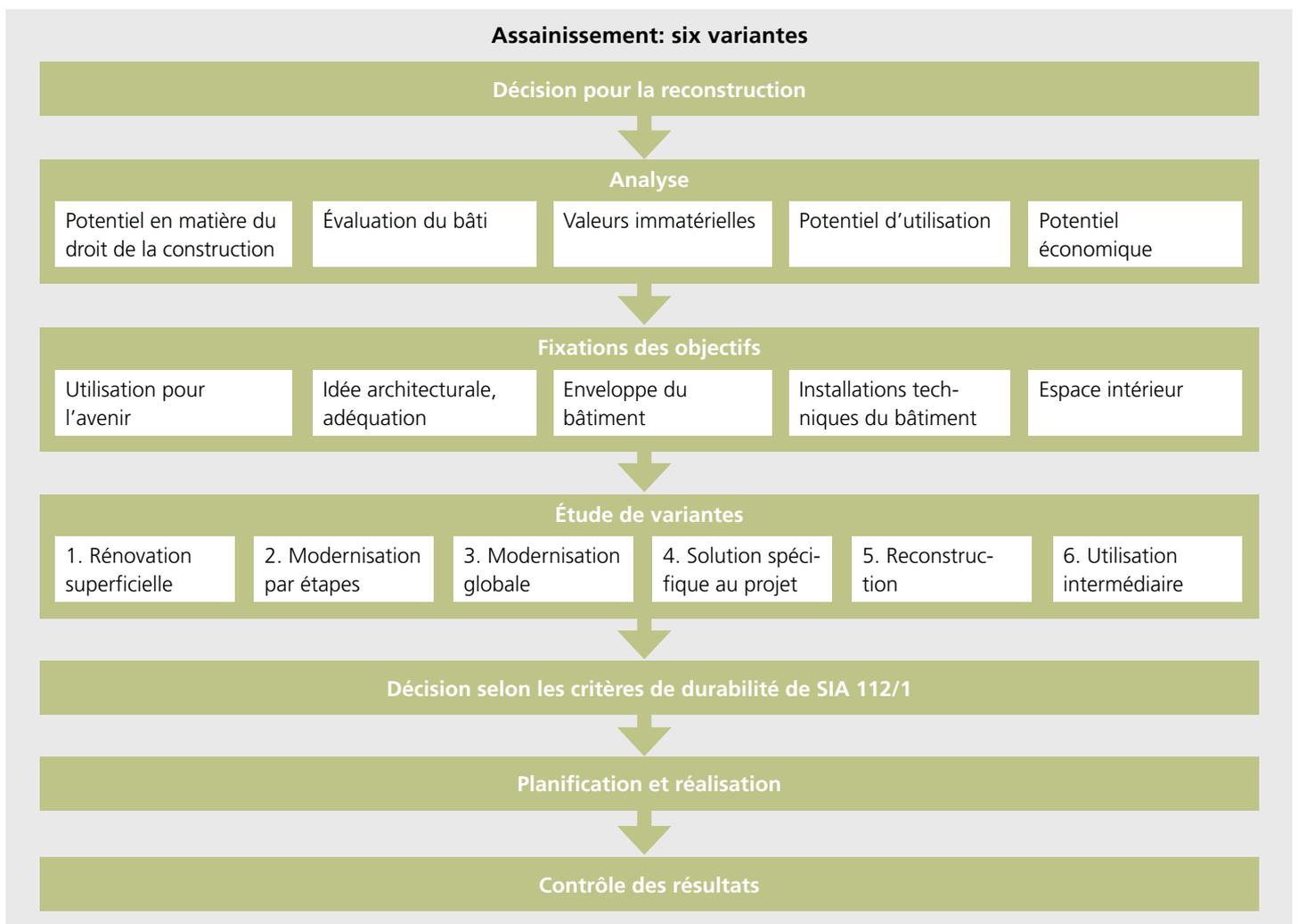
- Qu'apporte le bâtiment aujourd'hui et à l'avenir pour le quartier, le village ou la ville?
- Quelles sont les priorités du maître d'ouvrage?

Une analyse et une évaluation précises du défi à relever et des ressources disponibles, une vision à long terme et l'estimation des chances et des risques, permettent de prendre des décisions sur des bases solides. Aujourd'hui, les rénovations – transformations se doivent non seulement d'être convaincantes sur le plan économique et esthétique, mais doivent également être tournées vers l'avenir et efficaces sur le plan énergétique. Et cela passe par un concept global réfléchi et bien localisé, avec des objectifs à long terme et une possibilité de mise en œuvre modulaire.

Les six variantes présentées diffèrent selon l'importance de l'intervention.

Variantes de la reconstruction

- 1. Rénovation superficielle et élimination des défauts:** Faibles coûts de construction, donc courtes durées d'amortissement. Pas de préservation de la valeur, pas de perspective à long terme. Aucun concept global n'est nécessaire. Complexité des différentes mesures très limitée. Bilan: n'est intéressant que si l'utilisation ultérieure n'est pas bien définie. Au mieux, un argument en faveur d'une utilisation intermédiaire novatrice?
- 2. Modernisation par étapes:** Coûts de construction relativement élevés, qui se répartissent sur les étapes pendant plusieurs années (jusqu'à 25 ans); le concept de modernisation doit se rapporter à toutes les étapes. Les différentes étapes ne doivent pas être planifiées de façon isolée. Les deux variantes «modernisation par étapes» et «modernisation globale» sont équivalentes



sur le plan des mesures individuelles mises en œuvre – il n’y a pas d’alternative à la planification réfléchie et la construction planifiée dans le détail.

3. Modernisation globale: Variante coûteuse, mais plus avantageuse à long terme, car de longues durées d’amortissement sont possibles. Condition du concept global: soutien par des architectes et des planificateurs techniques. Les deux variantes «modernisation par étapes» et «modernisation globale» sont équivalentes sur le plan des mesures individuelles mises en œuvre – il n’y a pas d’alternative à la planification réfléchie et la construction planifiée dans le détail.

4. Solution spécifique au projet: Transformation, agrandissement, transformation partielle, modernisation etc. Il s’agit de développer un concept global cohérent spécifique au projet, qui se compose d’un mélange de différentes mesures.

5. Reconstruction: La situation sur le marché du logement est difficile à estimer sur le long terme. La société change, les exigences en matière d’habitat aussi. Le désir d’un espace de vie aussi grand que possible doit être fortement remis en question au profit de la qualité de l’espace, de l’utilisation et de l’espace extérieur. Lorsque le plan d’une maison individuelle ou à plusieurs logements n’est plus adapté, que le gros œuvre

ainsi que les installations ont besoin d’une rénovation et que la protection phonique est elle aussi insuffisante, il peut être intéressant d’envisager une reconstruction (voir travaux de Lacaton & Vassal). Une reconstruction offre une marge de manœuvre: L’utilisation peut être aisément augmentée, et la combinaison des usages peut être redéfinie, ce qui génère de nouveaux rendements. Un nouveau bâtiment de qualité peut également revaloriser le quartier et le rendre plus vivable.

6. Utilisation intermédiaire: Une utilisation intermédiaire/provisoire donne non seulement le temps de planifier la transformation, mais aussi de trouver une utilisation cohérente. Elle peut montrer à quoi le bâtiment pourrait servir, aider un bâtiment auparavant vide à être mieux accepté dans le quartier ou attirer de futurs utilisateurs potentiels et éveiller leur intérêt pour le bâtiment. Les projets d’utilisation intermédiaire du «Baubüro in situ» à Bâle montrent le potentiel et la puissance de cette stratégie.

Quel projet de rénovation – transformation?

Il est toujours avantageux d’envisager différentes solutions: L’élaboration de plusieurs approches de projet exige de faire le point sur les mesures nécessaires à



Exemple pour l'étude des variantes.

court terme, à moyen terme et à long terme. Il s'agit alors d'évaluer et d'analyser les objectifs, les conditions cadres à respecter, les qualités et les éventuelles plus-values.

- Faire appel à des spécialistes
- Qualité architecturale, atmosphère, densité.
- Préservation, renforcement, création de qualités immatérielles.
- Études de faisabilité avec estimation des coûts et des rendements.
- Estimation des risques économiques avec définition précise des coûts.
- Les études de variantes permettent aux maîtres d'ouvrage et aux planificateurs de choisir la bonne stratégie.
- Consommation d'énergie plus faible à long terme, afin d'être le plus indépendant possible des fluctuations de prix des agents énergétiques. Renoncer au pétrole comme agent énergétique.
- Utilisation d'énergies renouvelables.
- Contribution à la biodiversité
- Gestion cohérente de l'eau (utilisation des eaux grises, des eaux sales, des eaux de pluie).
- Espace extérieur de qualité
- Éliminer les points faibles.

Les solutions possibles ne se limitent pas, dans l'avenir, au bâtiment seul, mais s'étendent à tout un quartier, à toute une zone d'habitation ou même à toute une région. C'est pourquoi il faut également se remémorer les solutions radicales, provenant peut-être d'une périphérie forte et de centres dynamiques, qui perpétuent une Suisse des régions et par là, sa culture du bâti, dans toute sa diversité et sa richesse. Les ouvrages ayant fait l'objet d'une rénovation – transformation doivent témoigner avoir été l'œuvre de personnes attentives qui ont su guider l'existant vers l'avenir avec respect et prudence.

Dans la pratique: il est recommandé de prendre contact au plus tôt avec des entreprises et d'autres spécialistes, afin d'analyser le gros œuvre. Le savoir-faire d'un entrepreneur est requis et celui-ci doit également être dédommagé de manière appropriée. Il est important de toujours remettre

en question le processus et les conditions cadres:

- Une réflexion à long terme est-elle rentable?
- Le matériau de construction choisi peut-il être facilement remplacé ou réparé?
- Le type d'utilisation, d'utilisation mixte est-il correct?
- La problématique des interfaces doit faire l'objet d'une attention particulière dans le cas des transformations.
- Les coûts d'entretien représentent-ils un risque?
- Meilleure qualité d'habitation pour des émissions de CO₂ réduites?
- Habitat authentique?
- Le bâtiment, le quartier, la ville comme centrale énergétique: gestion autonome et post-fossile?
- Objet de rénovation – transformation de qualité, planifié de façon durable?
- Les bâtiments produisent-ils en même temps l'énergie nécessaire pour la mobilité des habitants?
- Des modules solaires intégrés en toiture et en façade?
- Les coûts de l'énergie dans les prochaines décennies sont-ils sous contrôle?
- Quelle est la contribution du bâtiment à la qualité de vie du quartier, du village, de la ville?

Phase d'exécution, réalisation: Cette phase requiert une grande attention de la part de toutes les parties concernées, car il est primordial de prendre en compte les constructions existantes, de pouvoir réagir à-propos aux surprises pouvant survenir lors de la construction et de savoir prendre des décisions rapides et prudentes tout au long du déroulement du projet.

Communication: Pour atteindre les objectifs de la rénovation – transformation de demain, la notion de communication est essentielle. Toutes les personnes concernées par le processus, les maîtres d'ouvrage, les planificateurs et les conservateurs des monuments historiques, les ingénieurs du bâtiment et les entrepreneurs, doivent dialoguer sur les défis à relever, les solutions possibles et engager des débats

*Maison de la Commune à St-Saphorin-sur-Morges d'atelier niv-o.
(Photo: Thomas Jantscher)*



contradictoires. Aujourd'hui, c'est aussi pour les générations «post-fossiles» que nous finançons, planifions et construisons des bâtiments.

La réussite passe par une vision à long terme

Investir dans une rénovation, c'est investir dans l'avenir. Et cela doit se faire à l'issue d'un débat intensif et transparent. Pour réussir la planification d'une rénovation – transformation, il faut mettre en œuvre des processus complexes impliquant dès le début la prise de décisions très importantes et la définition des conditions de départ. Une analyse et une évaluation précises du défi à relever et des res-

«Les architectes qui se consacrent aux reconstructions devraient procéder comme s'il s'agissait d'une construction neuve. Cela signifie que, d'une façon générale, leur mission est similaire. L'évaluation de l'existant, la reconnaissance de possibilités de modification faisables sur les plans économique, écologique et architectural, la connaissance du comportement de vieillissement des éléments de construction, la curiosité et le plaisir du construit prennent une grande importance. Sont donc recherchés, des architectes concepteurs pouvant développer des concepts de rénovation de façon autonome et flexible et de communiquer avec succès les résultats aux mandants. Ce travail peut se dérouler au sein d'une petite équipe dans laquelle un généraliste joue un rôle central.»

Jürg Gredig, Martin Halter, Urs Hettich, Niklaus Kohler

sources disponibles, une vision à long terme et la définition des chances et des risques, permettent de prendre des décisions sur des bases solides. Aujourd'hui, pour être convaincantes, les stratégies de la rénovation – transformation doivent être novatrices, créatives, globales et esthétiques. Pour cela, toutes les parties concernées doivent s'impliquer dans la planification de la construction afin de relever ce défi.

Et cela passe également par un concept global convain-

cant et réfléchi, avec des objectifs à long terme et une possibilité de mise en œuvre modulaire. Il est essentiel de remettre continuellement en question les aspects, critères et limites du système présentés, et de réajuster sans cesse la planification. L'élaboration de plusieurs approches de

projet exige de faire le point sur les mesures nécessaires à court terme, à moyen terme et à long terme.

Le bâtiment comme système

Les bâtiments anciens sont des systèmes hautement différenciés qui réagissent de manière sensible aux modifications. Bon nombre de choses doivent être gardées à l'esprit ou analysées en profondeur, et les décisions doivent être justifiées en se basant sur des critères transparents de construction durable. En architecture, le développement durable ne doit pas rester un terme vide de sens. Il doit être mis en œuvre de façon concrète, comme un élément essentiel des méthodes de planification. L'efficacité énergétique est aujourd'hui au centre de tous les projets de construction et représente l'objectif d'une construction respectueuse des ressources, mais il serait extrêmement négligent de se concentrer exclusivement sur cet aspect. Les qualités architecturales ne doivent en aucun cas être sacrifiées au nom de l'obsession de l'isolation thermique, bien qu'il soit important de mener à fond le débat autour du thème de l'efficacité énergétique et des stratégies d'isolation, du confort et d'inclure des concepts énergétiques intelligents.

Les connaissances et les compétences sur les bâtiments, quartiers ou zones urbaines efficaces sur le plan énergétique sont aussi importantes que la capacité à favoriser une mobilité plus efficace et moins émissive. Aujourd'hui, c'est aussi pour les générations «post-fossiles» que nous finançons, planifions et construisons des bâtiments. Et cela ne peut plus attendre, car notre environnement bâti gardera longtemps le visage que nous lui donnons.

Économie

La construction durable inclut une vérification par la saisie des coûts et un contrôle de pertinence. Afin que ces prestations requises puissent être intégrées dans un système éventuellement surdéterminé et ce, même dans la rénovation – transformation

de tous les jours (segment bas de gamme), il faut attribuer plus d'importance à cette compétence globale de planificateur. La prestation doit pouvoir avoir son prix.

Prestation culturelle et qualité esthétique

L'architecture, c'est aussi une petite dose d'appréciation et d'indéfini, d'inconscient et d'impression. Au bout du compte, les projets de rénovation – transformation eux doivent aussi s'imposer par la qualité de leur design. Et c'est pour cela qu'il faut favoriser une meilleure communication entre toutes les parties impliquées dans le processus de construction, ainsi qu'une mise en œuvre concrète et dynamique du savoir-faire disponible en matière de construction efficace sur le plan énergétique, sans compromis vis-à-vis de la qualité architecturale. Les solutions, parfois radicales, doivent renforcer notre position structurelle, accueillir les innovations et traiter avec plus de sensibilité nos ressources en termes d'espace. Plutôt que d'entretenir la concurrence entre les communes en termes de recettes fiscales (quoi qu'il en coûte), il faut encourager une coopération viable et constructive. Le gaspillage de nos campagnes, due à notre mobilité débordante, ne peut être freiné que par un aménagement du territoire qui relèguerait l'intérêt personnel derrière l'intérêt commun. Les concepts doivent présenter l'ouverture et la flexibilité requises pour permettre à tout moment de réagir à d'éventuelles évolutions.

Objectifs de la rénovation – transformation durable

Alfred Breit-
schmid
Dieter Schnell
Peter Schürch

La «rénovation – transformation» désigne une approche de projet évolutionnaire, dans laquelle l'existant forme le point de départ. L'objectif est de transformer un bâtiment pour l'adapter à une nouvelle utilisation orientée vers l'avenir, sans renier ni mettre en scène l'ouvrage originel, mais en l'acceptant tel qu'il est réellement. En ces termes, la «rénovation – transformation» désigne une architecture qui ne se complaît pas dans des solutions radicales et sans compromis, mais aspire à une transformation en douceur, parfois peu spectaculaire, de notre environnement bâti. L'objectif suprême doit consister à améliorer l'ouvrage existant de manière à l'adapter de manière pertinente aux nouveaux besoins, tout en préservant ses précieuses propriétés et en lui permettant d'être à la hauteur des défis écologiques, économiques et sociaux d'aujourd'hui. Reconnaître et perfectionner l'existant avec sensibilité, voilà le véritable défi. Entre les deux extrêmes de la rupture totale et de la conservation de l'existant, il existe bon nombre de nuances qui représentent autant de possibilités d'action. Les deux

extrêmes ne sont ici nullement évalués: la rupture totale, tout comme la conservation, peuvent selon la situation être tout aussi pertinents que toutes les nuances intermédiaires envisageables. Il n'y a pas qu'une seule reconstruction possible pour chaque cas: il y a seulement une reconstruction adaptée à une situation donnée. Les objectifs de la rénovation – transformation durable sont définis en référence au document explicatif de la norme SIA 112/1 «Construction durable – Bâtiment». Les trois domaines A «Société», B «Économie» et C «Environnement» sont divisés en 21 critères avec objectifs (Tabl. 1.1) Développés principalement pour les nouveaux bâtiments, certains changements d'orientation du point de vue de la reconstruction sont abordés ici.

1.1 Société

Infrastructure: Un approvisionnement général en biens pour les besoins de base ainsi que des offres sociales et culturelles garantissent une qualité élevée d'un lieu. Les courtes distances sont cruciales.



*Illustration 1.1:
Transformation
d'une maison d'ha-
bitation et commer-
ciale Bümpliz-
strasse, Berne, vde
Kast Kaeppli
Architekten BSA
SIA. (Photo: Rolf
Siegenthaler)*

Solidarité: La solidarité signifie ouverture, sympathie et serviabilité entre les membres d'une société. L'accès aux biens et aux ressources doit être garanti pour tous.

Contacts sociaux: Les bâtiments anciens font ou faisaient déjà partie du tissu social; des gens y ont vécu ou travaillé jusqu'à la veille de la transformation. Les habitants du quartier connaissent l'immeuble et lui associent certaines significations et atmosphères. Tout cela doit d'abord être perçu afin de pouvoir réagir de manière consciente et spécifique. Pour les voisins, une transformation est toujours chargée d'émotion. Une bonne communication, une grande qualité d'utilisation et la participation créent l'acceptation nécessaire.

Utilisabilité: Les bâtiments anciens offrent non seulement de nombreuses possibilités d'utilisations nouvelles, ils sont également limitatifs. Tout bâtiment ancien n'est pas adapté à n'importe quelle nouvelle utilisation. Parfois, ce sont même le lieu, le quartier ou l'accessibilité qui s'opposent à certaines perspectives d'utilisation. Il arrive très souvent qu'il faille ôter à un bâtiment ancien trop d'espace utile (sous-sol à plusieurs niveaux, aménagements en toiture

etc.). Les bâtiments anciens ne possèdent pas seulement un potentiel d'utilisation, ils nous confrontent également aux habitudes de vie des générations précédentes: au cours des quarante dernières années, le besoin en surface par personne a quasiment doublé en Suisse. Il va de soi que cette évolution va à l'encontre d'un développement durable écologique. Il serait bon que ces bâtiments anciens nous apprennent à renoncer à notre volonté d'avoir toujours plus. Les projets de rénovation – transformation ne sont réellement réussis que lorsque l'utilisation nouvelle peut être intégrée le plus simplement possible dans l'ancienne situation.

Aménagement: Les bâtiments anciens font partie du paysage urbain, du quartier et des rues. Leur esthétique vient d'une autre époque et dégage l'atmosphère et l'identité correspondantes. Tout comme une conseillère de mode doit tenir compte de l'âge, de la couleur des cheveux et des yeux, de la silhouette et du style de la personne à conseiller pour obtenir un bon résultat, l'architecte doit tenir compte de l'esthétique d'un vieux bâtiment. Vouloir imposer sa «propre» esthétique à un bâti-

Tableau 1.1:
Durabilité définie en trois secteurs et 21 critères pertinents pour l'évaluation. (Source: SIA 112/1)

Secteurs	Critères	Objectifs
A – Société (social)	A.1 Infrastructure	Offre en approvisionnement de base adapté pour l'environnement proche
	A.2 Solidarité	Contributions pour une équité sociale dans une société solidaire
	A.3 Contacts sociaux	Création d'espaces de rencontre et de possibilités de retrait
	A.4 Utilisabilité	Qualité d'utilisation élevée et possibilité d'adaptation
	A.5 Disposition	Création de valeur, identité et innovation par une architecture de grande valeur
	A.6 Bien-être	Sentiment de sécurité élevé et espaces intérieurs et extérieurs confortables
	A.7 Participation	Niveau élevé d'acceptation grâce à la participation
B – Économie (économique)	B.1 Site	Développement optimal et à long terme de la qualité du site
	B.2 Compensation	Cadre social intact grâce à la compensation économique
	B.3 Densité	Bonne infrastructure et utilisation élevée grâce à une densification de qualité
	B.4 Valeur vénale	Adéquation entre l'offre et la demande
	B.5 Innovation	Durabilité par l'innovation et le développement social
	B.6 Capacité d'action	Marge de manœuvre grâce à un financement sûr et un risque calculé
	B.7 Coûts sur le cycle de vie	Optimisation des investissements et réduction des coûts d'exploitation et d'entretien
C – Environnement (écologique)	C.1 Mobilité	Mobilité respectueuse des ressources et de l'environnement grâce à de courtes distances
	C.2 Sobriété	Réduction des exigences à ce qui est l'essentiel et nécessaire
	C.3 Biodiversité	Préservation et promotion de la diversité des habitats et des espèces
	C.4 Durabilité	Construction optimisée pour l'adaptabilité et la durabilité
	C.5 Cycles des matériaux	Faibles émissions et prise en compte des cycles des matériaux
	C.6 Construction	Réalisation respectueuse des ressources et du climat
	C.7 Exploitation	Faible besoin en énergie et couverture par des sources d'énergie renouvelables

ment reconstruit est aussi inapproprié que de recommander des bottes moullantes à hauts talons à une dame âgée. L'objectif de la rénovation – transformation est plutôt de renforcer les qualités existantes, de parvenir à une harmonie intéressante dans la juxtaposition de l'ancien et du nouveau, qui n'étouffe ni ne détruit l'ancien, ni ne le met en évidence, mais qu'il apparaisse comme parfaitement intégré.

Bien-être: Les constructions et les pièces anciennes dégagent une atmosphère particulière, que de nombreuses personnes apprécient particulièrement. Cette atmosphère est une qualité qu'il faut renforcer. Dans les logements contemporains, il est aujourd'hui fréquent de supprimer les murs non porteurs pour créer de grands espaces. Cela détruit à coup sûr l'ancienne atmosphère des lieux, sans pour autant garantir un résultat équivalent. Sur le plan sanitaire, les bâtiments anciens présentent l'avantage de ne plus présenter aucune trace d'éventuels solvants et d'autres substances toxiques, qui se sont évaporés depuis longtemps. Néanmoins, les solvants utilisés et d'autres substances toxiques comme l'utilisation d'amiante, les dégâts causés par l'humidité et la présence de moisissures doivent être clarifiés et des concepts d'assainissement doivent être élaborés à un stade précoce.

Participation: L'implication de divers groupes cibles et groupes d'intérêt dans le processus de planification crée une acceptation et garantit que leurs besoins seront pris en compte de manière adéquate.

1.2 Économie

Site: Le site des bâtiments est d'une importance capitale pour la facilité d'utilisation, la valeur vénale et le rendement économique d'un bien. Cela inclut des facteurs tels que l'accessibilité, les liaisons de transport avec le site, mais aussi la diversité, la densité et la qualité des environs proches.

Équilibre: Tous les membres d'une société doivent avoir accès aux biens, aux moyens de paiement et aux ressources. L'interaction de l'initiative personnelle et de l'action politique peut créer un cadre de stabilité et de confiance mutuelle.

Densification: Une densification de qualité favorise l'attractivité d'un site et présente un potentiel économique élevé. Plus la zone est peuplée, plus l'infrastructure peut être utilisée efficacement.

Commerciabilité: La qualité de l'atmosphère d'une construction ancienne a indubitablement aussi une importance sur le plan économique. Le cachet historique d'un bien est inestimable et bénéficie sur le marché d'une grande valeur. Lorsque l'unicité d'un bâtiment historique parvient à être préservée, il se trouve sans nul doute des amateurs prêts à payer un peu plus cher. Comme en témoignent le commerce des antiquités, les innombrables marchés aux puces et les bourses d'occasions, l'attrait pour les objets anciens ne cesse de croître depuis plusieurs décennies, et rien ne laisse penser que la tendance pourrait revenir à la baisse.

Innovation: Pour pouvoir s'adapter à l'évolution des besoins, il faut innover en matière de procédés, de produits et de concepts d'utilisation.

Capacité d'action: Lors de la planification, des prévisions de coûts aussi précises que possible permettent d'adopter une stratégie d'optimisation plutôt qu'une stratégie de maximisation, ce qui peut entraîner de grandes différences en termes de construction et de finances. Les extensions de toit sont généralement très coûteuses, mais peuvent aussi contribuer à financer une rénovation globale. Il est intéressant de comparer différentes stratégies de rénovation.

Coûts du cycle de vie: Les matériaux de construction historiques nécessitent un entretien relativement important. Plus tôt un dommage peut être identifié et réparé, moins il y a de dégâts et donc moins les coûts de réparation sont élevés. L'optimisation des coûts d'exploitation et de maintenance passe donc par un concept de maintenance minutieux. Lors de la rénovation d'un bâtiment ancien, les coûts de construction et de cycle de vie prévus doivent être calculés avec précision, car certaines mesures non absolument nécessaires peuvent entraîner des coûts très élevés.

La reconstruction durable mène les bâtiments anciens vers un avenir économiquement sûr dans la mesure où le bâtiment est capable de répondre à nouveau aux exigences pendant une période plus longue. Il est important que les prochaines rénovations soient déjà prises en compte dans la planification du projet. L'installation d'éléments réversibles, de pièces d'usure facilement remplaçables ou de surfaces adaptables permettra d'éviter pendant longtemps une intervention conséquente et donc coûteuse.

1.3 Environnement

Mobilité: Les questions relatives à la mobilité peuvent être des arguments essentiels pour ou contre une nouvelle utilisation. Des concepts attrayants pour le trafic non motorisé et de bonnes liaisons avec les transports publics réduisent les émissions de bruit, de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre.

Sobriété: La modération, notamment en termes de consommation de terres, est un facteur clé pouvant être influencé dans la planification de l'utilisation future.

Biodiversité: Les bâtiments anciens influencent déjà leur environnement. Là aussi, il faut partir du principe que l'existant doit être pris comme base des réflexions de planification. Dans l'idéal, les éléments existants ressortent renforcés de la transformation. En principe, dans les rénovations de bâtiments anciens, dans l'optique d'une utilisation durable du sol, une exploitation supplémentaire est avantageuse. Celle-ci ne doit bien sûr pas surcharger le bâtiment; en cas de doute, elle peut être réalisée par une annexe ou une extension. L'espace extérieur perd alors en surface de sol, mais peut gagner en qualité grâce à un aménagement soigneux.

Durabilité: Les bâtiments anciens ont un caractère systémique. En d'autres termes, les matériaux de construction sont liés les uns aux autres avec précision et leurs propriétés se complètent généralement de façon optimale. Pour choisir de nouveaux matériaux de construction, il est donc tout naturel de se baser sur ce qui existe déjà. Et ce, en veillant toutefois à ce que les nou-

veaux matériaux n'endommagent pas les anciens (le béton absorbe par exemple différents sels du mortier de chaux ancien et le détruit ainsi à plus ou moins long terme) ou ne les soumettent pas à une sollicitation supplémentaire (poids, humidité etc.). Étant donné que le comportement à long terme des derniers matériaux de construction apparus sur le marché est généralement mal connu, on peut recommander de manière générale, en cas de doute, de privilégier les matériaux traditionnels par rapport aux produits les plus récents. Les bâtiments anciens n'ont pas été construits dans l'optique des possibilités actuelles. Des valeurs d'isolation trop élevées, par exemple, peuvent totalement modifier l'équilibre hygrométrique d'une construction ancienne et causer ainsi des problèmes importants, jusqu'à l'apparition de moisissures et de champignons sur les parties boisées.

Cycles des matériaux: Lors de l'extraction, la production, le traitement et l'élimination des matériaux de construction, il est important d'éviter les polluants et boucler les cycles.

Réalisation: Des bâtiments compacts, des plans bien structurés, des concepts énergétiques intelligents, le travail avec différentes zones climatiques et une matérialisation économe en ressources contribuent à réduire l'énergie grise et les émissions de gaz à effet de serre.

Exploitation: L'optimisation des installations techniques des bâtiments et donc de l'énergie d'exploitation ne peut être réalisée selon les mêmes normes dans les anciens bâtiments que dans les nouveaux. Les exigences toujours croissantes en matière de confort ont un impact majeur sur l'énergie d'exploitation. Si toutes les pièces d'un nouveau bâtiment sont généralement mises au même niveau technique, cette égalité de traitement n'est nullement obligatoire dans les bâtiments anciens. Au contraire, un concept très différencié, dans lequel toutes les pièces ne sont pas chauffées de la même façon et ne sont pas toutes ventilées ou refroidies, peut réduire massivement les besoins en énergie pour l'exploitation.



La rosace du développement durable

La réussite d'une architecture globale et durable implique des réalisations appropriées dans tous les domaines de la société (social), de l'économie (économique) et de l'environnement (écologique). La rosace du développement durable, mise au point à la haute école spécialisée de Berne, permet d'évaluer, de représenter sous forme graphique et de débattre de ces domaines (Illustration 1.2). À chaque champ d'action est associée une évaluation subjective de 0 (minimum) à 10 points (maximum), sur la base des critères indiqués. Pour que l'évaluation qualitative ou quantitative concrète soit plausible, l'estimation des différents critères doit être justifiée. Cela peut s'effectuer à l'aide d'un texte d'appréciation ou d'un tableau correspondant. Un projet durable est représenté graphiquement par une rosace du développement durable équilibrée dans un polygone à 21 côtés. La rosace du développement durable n'est pas un instrument de labellisation objectif, mais uniquement un outil didactique per-

mettant de représenter une estimation personnelle des efforts à fournir pour mettre en œuvre les aspects en matière de développement durable d'un projet planifié ou exécuté. Les connaissances de plus en plus vastes sur les différents critères permettent de mener une discussion pertinente dans un but d'optimisation d'une architecture globale et durable et de développement d'une zone d'habitation. La rosace du développement durable peut également être utilisée pour débattre et délibérer de différentes variantes d'un même projet.

La double rosace du développement durable

Pour évaluer et discuter d'une rénovation dans une rénovation – transformation, on peut utiliser la double rosace du développement durable (Illustr. 1.4), avec l'évaluation du projet avant et après l'intervention. Bien entendu, la proposition de projet doit tendre vers une amélioration de la situation existante, ce qui est visible dans la double rosace du développement durable.

*Illustration 1.2:
Maison bernoise à
plusieurs logements
assainie, de Halle 58
Architekten, Berne.
(Photo: Christine
Blaser)*

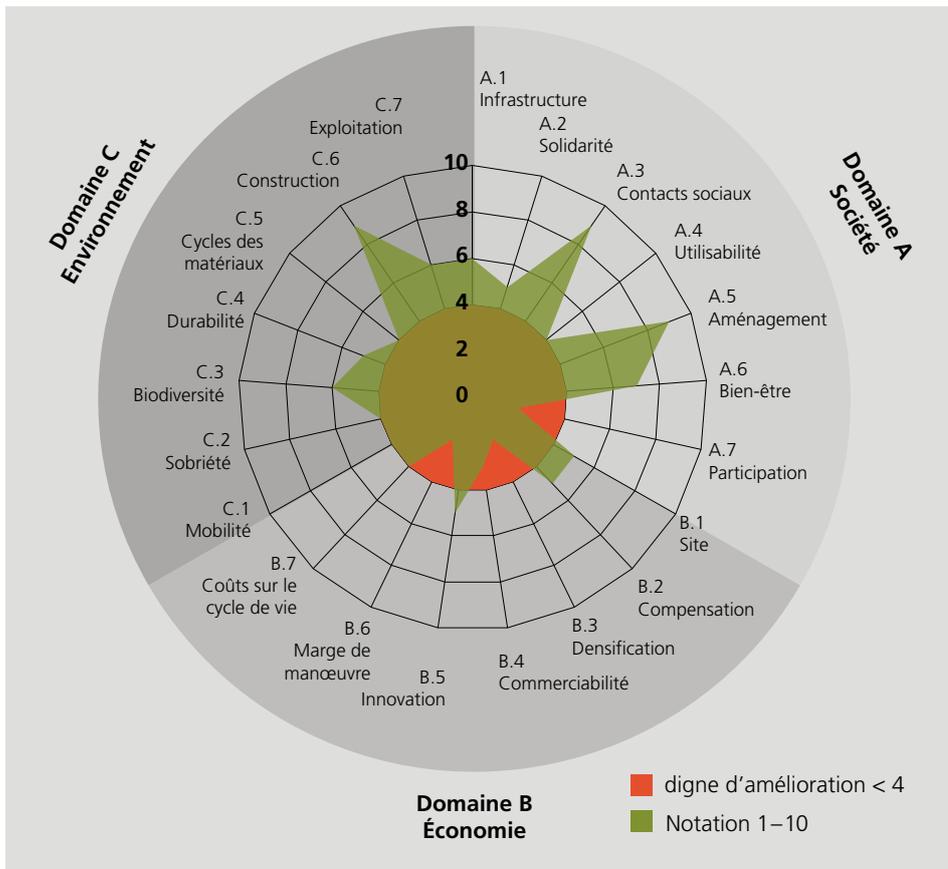


Illustration 1.3:

La rosace du développement durable avec les trois domaines «Société», «Économie», «Environnement» et 21 critères. Les notes (minimum 0, maximum 10 points) sont attribuées sur la base de l'évaluation de critères concrets. Pour qu'une mise en œuvre ambitieuse des objectifs de durabilité soit couronnée de succès, de bons résultats doivent être obtenus dans les trois domaines. Il est nécessaire d'agir si le seuil de qualité de durabilité (4 points) n'est pas atteint. En plus des recommandations de la SIA 112/1, sept critères par zone ont été définis (Tableau 1.1). (Source: SIA 112/1)

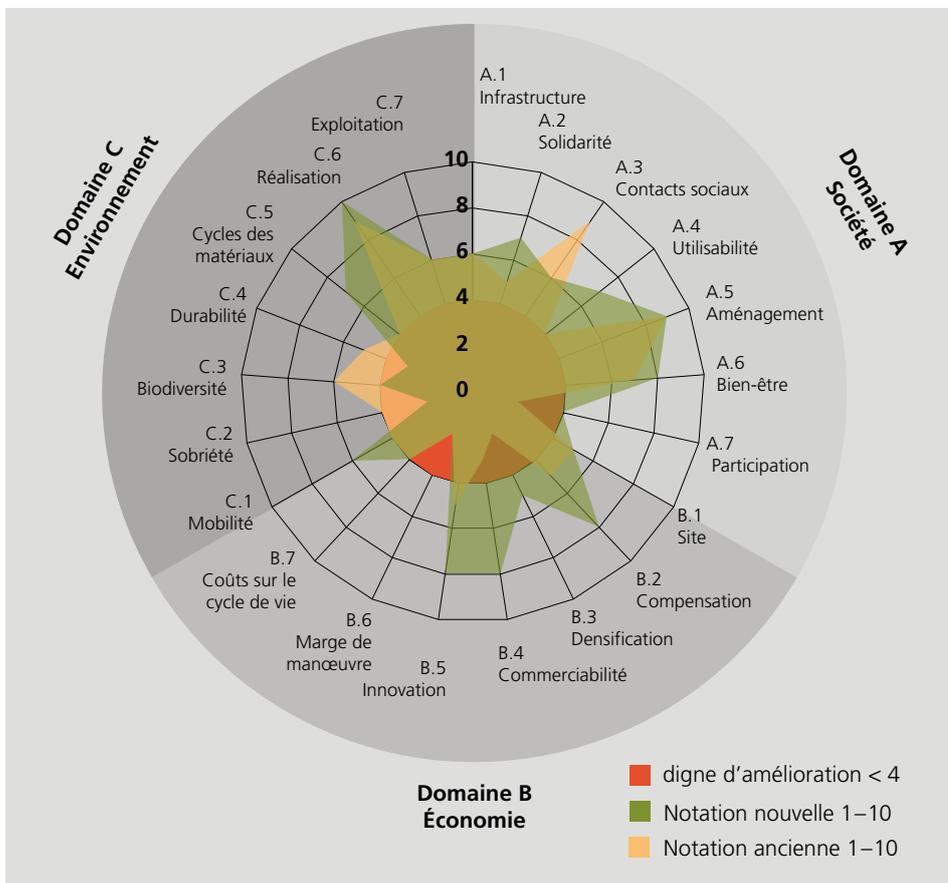


Illustration 1.4:

La double rosace du développement durable pour l'évaluation d'un projet avant et après l'intervention. Sur la base de la situation de départ (zone jaune), on identifie des améliorations (zone verte). (Source: SIA 112/1)

Société

- Communauté
- Structure
- Utilisation, accessibilité
- Bien-être, santé

Économie

- Bâtiment et substance bâtie
- Frais d'installation
- Frais d'exploitation, frais d'entretien
- Valeur ajoutée, marché de l'immobilier

Environnement

- Matériaux de construction
- Énergie d'exploitation
- Sol, nature, paysage
- Infrastructure

Philippe
Lustenberger

1.4 La durabilité évaluée

Ci-après, quelques exemples illustrent les critères pouvant influencer sur la durabilité d'un bien immobilier et la façon dont ils peuvent être représentés. Ces champs d'action forment également une base d'évaluation de la durabilité, comme expliqué au chapitre 1 «Objectifs d'une construction rénovation – transformation». Entre autres, les critères de la norme SIA 112/1, Construction durable – Bâtiment – sont décrits dans le document explicatif de la norme SIA 112. Envisager la durabilité de façon globale est un devoir absolu tant lors de la planification que lors de la réalisation et de l'exploitation d'un bien immobilier.

Exemple 1: Domaine Environnement, critère Sobriété, à l'exemple du besoin en surface habitable, de l'évolution démographique et de l'accroissement futur de la population en Suisse.

On se référera entre autres aux chapitres suivants:

- Chapitre 4 «Processus de planification, stratégie et communication»
- Chapitre 5 «Durabilité économique»
- Chapitre 7 «Protection contre le bruit»

Selon l'Office fédéral du développement territorial (ARE), les surfaces habitables nécessaires n'ont cessé de croître au cours

des dernières décennies. Tandis qu'en 1980, cette surface était de 34 m² par personne, elle avait en 2017 atteint les 46 m² par personne. Les prévisions de l'ARE avancent pour 2030 le chiffre de plus ou moins 55 m² par personne. L'Office fédéral de la statistique, quant à lui, prévoit une augmentation de la population de Suisse, qui comptait environ 8,3 millions d'habitants en 2015, à 9,5 millions d'habitants en 2030, resp. à 10,2 millions en 2045. Cela représente une augmentation de 14,5 %, respectivement de 22 %. Si l'on considère les régions individuellement, les chiffres de la population évoluent de façon différente: les cantons les plus concernés par l'accroissement de population sont les cantons de Vaud, Thurgovie, Argovie, Valais, Zurich, Zoug et Lucerne, avec une augmentation de 23 à 41 %. Étant donné que les exigences de qualité augmentent également en raison du changement démographique (pyramide des âges, augmentation de la richesse, augmentation du nombre de ménages d'une seule personne etc.), on peut s'attendre à ce que les exigences en matière d'habitat et d'aménagement du territoire continuent à évoluer également.

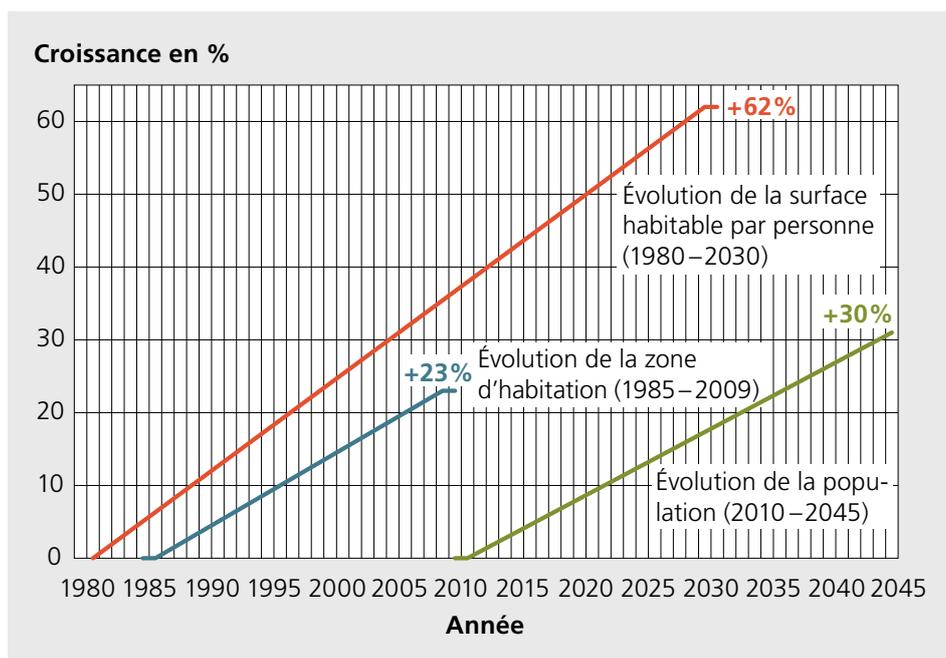


Illustration 1.5: Comparaison de la croissance de la population, de la zone d'habitation et de la surface habitable par personne en pourcent. (Source: ARE, 2011)

Illustration 1.6:
Durée de vie et
séparation des
systèmes – système
primaire.

Illustration 1.7:
Durée de vie et
séparation des
systèmes – système
secondaire.

Illustration 1.8:
Durée de vie et
séparation des
systèmes – système
tertiaire.

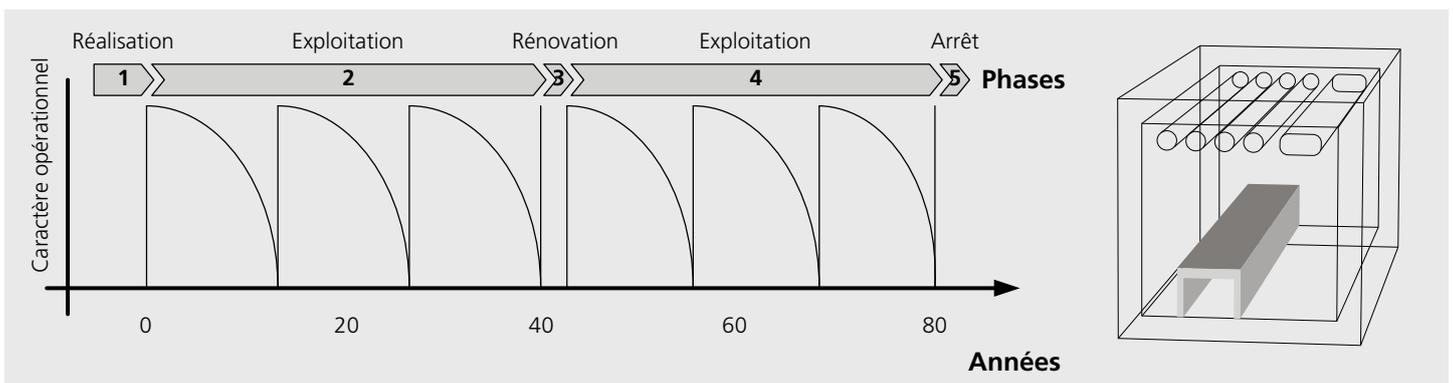
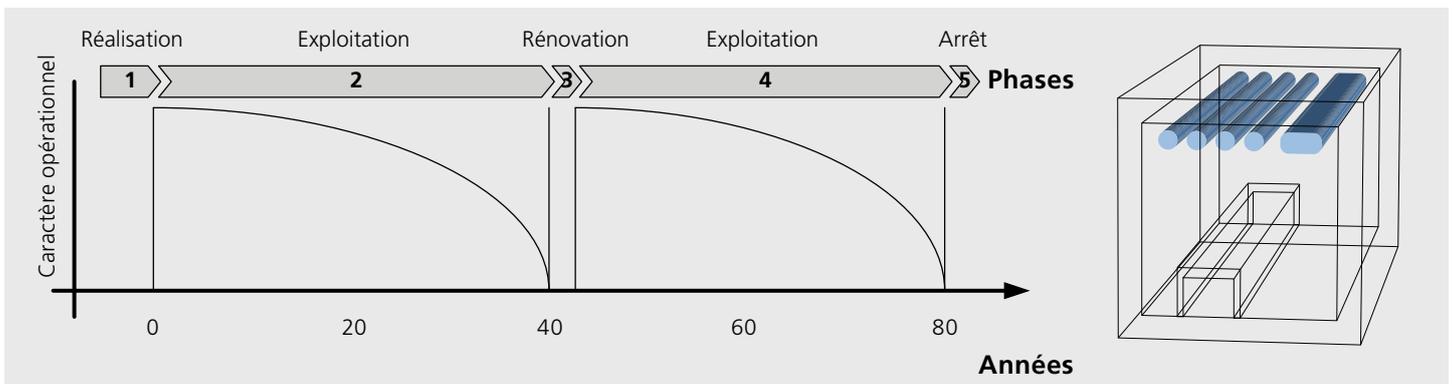
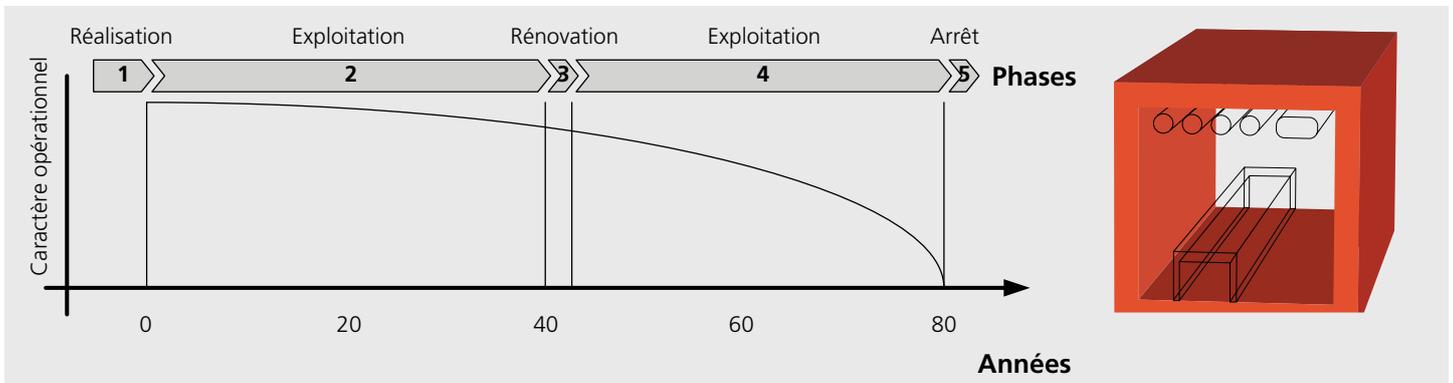
**Exemple 2: Domaine Économie,
champ d'action Bâtiment-gros œuvre,
critère Structure du bâtiment,
exemple de la séparation des sys-
tèmes du canton de Berne.**

On se référera entre autres aux chapitres suivants:

- Chapitre 8 «Structure porteuse»
- Chapitre 9 «Sites contaminés, matériaux de construction toxiques et concepts relatifs aux matériaux»

Définition des différents niveaux du système: la «séparation des éléments de construction» définit la séparation d'éléments de construction ayant des durées de

vie et d'utilisation différentes. Trop souvent, des éléments de construction ayant une courte durée de vie sont reliés de façon inamovible à des éléments ayant une longue durée de vie, de sorte que la durée de vie de l'ensemble est réduite à celle des éléments ayant la durée de vie la plus courte (p.ex. conduites coulées dans le béton). L'objectif doit être de séparer les uns des autres les éléments ayant des caractères opérationnels techniques et fonctionnels différents, lors de la planification et de la réalisation. Le remplacement de composants individuels peut ainsi s'effectuer sans qu'il soit nécessaire de détruire des éléments fonctionnels. Cela garantit la



valeur d'usage pour l'avenir. La séparation des éléments de construction s'effectue dans les trois niveaux de système: primaire, secondaire et tertiaire.

Système primaire

Le système primaire représente un investissement à long terme (50 à 100 ans) et forme le cadre en majeure partie immuable accueillant le système secondaire. Il comprend notamment:

- la structure porteuse (trame horizontale et verticale)
- l'enveloppe du bâtiment (façade et toiture)
- les raccordements extérieurs (viabilisation du terrain)
- les raccordements intérieurs (distributions horizontales et verticales principales)
- la structure de base pour les installations techniques (concept des distributions horizontales et verticales, emplacement des locaux techniques)

Système secondaire

Le système secondaire représente un investissement à moyen terme (15 à 50 ans) et devrait présenter un degré élevé de variabilité. Il est adaptable et comprend notamment les éléments suivants:

- aménagement intérieur (murs, sols, plafonds)
- installations techniques
- éclairage, installations de sécurité et de communication

Système tertiaire

Le système tertiaire représente un investissement à court terme (5 à 15 ans) et il doit être modifiable sans nécessiter d'importants travaux de construction. Il comprend principalement:

- l'équipement et le mobilier
- les appareils (y compris leur raccordement à partir du système secondaire)
- le câblage informatique

Exemple 3: Domaine Environnement, champs d'action Cycles de vie des substances et installations

Exemple Bilan écologique

On se référera entre autres aux chapitres suivants:

- Chapitre 5 «Durabilité économique»
- Chapitre 9 «Sites contaminés, matériaux de construction toxiques et concepts relatifs aux matériaux»
- Chapitre 11 «Concepts énergétiques»
- Chapitre 12 «Installations techniques du bâtiment»

Les données de l'écobilan se basent sur des flux de matériaux et d'énergie spécifiques à une branche, qui sont évalués en termes d'impact sur l'environnement. Dans la recommandation de la CSFC (Coordination des services fédéraux de la construction et de l'immobilier), l'évaluation globale s'effectue par la méthode de la saturation écologique et est exprimée en unités de charge écologique (unité de charge écologique). La méthode permet de peser le pour et le contre entre:

- d'une part une comparaison entre différents types de construction et
- d'autre part une comparaison entre la démolition ou la préservation du gros œuvre existant, et par là une charge écologique existante ou accrue.

Si l'on applique la méthode de calcul des unités de charge écologique comme base de décision entre une démolition ou une préservation du gros œuvre existant, il faut également prendre en compte le gain d'efficacité entre le gros œuvre ancien et nouveau, qui influe positivement ou négativement sur les coûts d'exploitation dans la phase d'utilisation du bien immobilier.

1.5 Sources

■ OIC Berne, Directives relatives à la séparation des systèmes, 2009: Directive Séparation des systèmes, Office des immeubles et des constructions du canton de Berne, Reiterstrasse 11, 3011 Berne, 2009

■ OIC Berne, Directives relatives à la séparation des systèmes, 2006: Directive Séparation des systèmes, Office des immeubles et des constructions du canton de Berne, Reiterstrasse 11, 3011 Berne, 2006

■ ARE, 2011: Office fédéral du développement territorial, Surfaces d'habitation nécessaires, état au 13 avril 2011, www.are.admin.ch

■ OFS, 2011: Office fédéral de la statistique, Scénarios relatifs à l'évolution de la population de Suisse, 2015 – 2045; consulté le 30.08.2019; www.bfs.admin.ch

■ OFS, 2016: Office fédéral de la statistique, Scénarios relatifs à l'évolution de la population de Suisse, 2015 – 2045; consulté le 30.08.2019; www.bfs.admin.ch

Évaluation architecturale

Dieter Schnell Les bâtiments historiques enrichissent notre cadre de vie. Face à la richesse des zones d'habitation, qui se sont développées avec leur pluralité de structures, de formes, de matériaux et de couleurs, avec leurs ruptures et césures, toute construction nouvelle doit rester en arrière plan. Lorsque des architectes tentent de concevoir leurs constructions nouvelles avec la même variété, les résultats sont toujours décevants, la richesse feinte et forcée. Car en réalité, cette richesse des structures historiques n'était pas intentionnelle. Elle a fait son chemin dans les constructions sans même que l'on s'en aperçoive. Premièrement, il s'agit d'une conséquence de l'âge, de la patine et de la légère altération des couleurs et des matériaux. Ensuite, elle repose sur la juxtaposition hasardeuse d'objets des plus divers. Et troisièmement, elle se traduit par un petit quelque chose d'inhabituel, qui appartient à un lointain passé et ne cadre plus avec ce que nous savons immédiatement appréhender.

Conservation des monuments historiques et protection du patrimoine

Après les bouleversements politiques et sociaux induits par la Révolution française en Europe, la protection et la conservation des bâtiments revêtant une importance historique furent de plus en plus considérées comme un devoir de l'État. Les gouvernements déclarèrent la préservation des monuments historiques d'intérêt public; les premières lois de protection virent le jour. Le débat engagé autour de la préservation de la valeur des bâtiments et des procédures de restauration et de conservation n'a cessé d'évoluer pendant 200 ans, jusqu'à devenir la théorie des monuments historiques faisant foi aujourd'hui. À l'échelle internationale, cette théorie est décrite dans les chartes de l'ICOMOS, conçues sur le modèle de la Charte de Venise (1964).

Aujourd'hui, de nombreux offices cantonaux des monuments historiques disposent d'inventaires complets. Ceux-ci réperto-



Illustration 2.1: Assainissement global d'une maison d'habitation Jurastrasse, Berne, de Kast Kaeppli Architekten BSA SIA. (Photo: Rolf Siegenthaler)

rient les objets «dignes de protection». Leur nombre grimpe rarement au-dessus de 5 % du parc total de bâtiments. En règle générale, la Loi cantonale sur la conservation des monuments historiques prévoit que tout projet de rénovation-transformation ou d'agrandissement sur des bâtiments cités dans l'inventaire doit obligatoirement être supervisé par un spécialiste de la conservation des monuments historiques. Conformément aux chartes de l'ICOMOS et aux principes de la Commission fédérale des monuments historiques, CFMH, ce spécialiste devra chercher à préserver l'authenticité de l'objet en conservant tout d'abord la substance matérielle et ensuite si possible l'esthétique de l'objet, et à le prémunir de toute modification ou de tout préjudice important. Si les travaux de conservation sont trop coûteux, les dépenses supplémentaires peuvent en partie être rémunérées par des subventions.

Les gens confondent souvent «conservation des monuments historiques» et «protection du patrimoine». Tandis que l'Office de conservation des monuments historiques est une instance cantonale qui applique la Loi sur la conservation des monuments historiques, la «Ligue suisse du patrimoine national», fondée en 1905, est quant à elle une association constituée d'intéressés, constituée de nombreuses sections et appartenant à la famille des organisations non gouvernementales. La «Ligue du patrimoine national» agit sur la construction par l'intermédiaire de son conseiller en construction, qui recherche le dialogue avec les responsables dans le cas où les projets sont contestés. Dans la plupart des cas, un accord à l'amiable est trouvé. Grâce au droit de recours des associations, la «Ligue du patrimoine national» peut néanmoins également poursuivre les responsables en justice, en cas d'infractions à la loi qui n'auraient pas été sanctionnées par les services de la construction. Elle s'appuie alors souvent sur la «Loi fédérale sur la protection de la nature et du patrimoine» de 1966 ou sur la «Loi fédérale sur l'aménagement du territoire» de 1979.

Reconstruction d'un bâtiment existant

La conservation des monuments historiques ne peut s'appliquer qu'à une très petite partie des constructions anciennes. La grande majorité des bâtiments anciens ne sont ainsi pas concernés par la Loi sur la conservation des monuments historiques. Toutefois, ils ne doivent pas pour autant être victimes de pratiques de rénovation peu soigneuses ou grossières. Même lorsqu'une construction ancienne, selon l'inventaire, n'est pas un monument historique digne de protection, les initiateurs d'une transformation ou d'une construction annexe se doivent d'agir après mûre réflexion et uniquement à la suite d'une analyse approfondie. La construction ayant toujours été un processus très coûteux, on peut considérer qu'au moins le maître d'ouvrage et probablement aussi les créateurs de l'architecture de chaque bâtiment étaient fermement convaincus, au moment de l'édification, de tirer le maximum du capital investi. Le point de départ de toute construction, même mineure, a été et reste une intention et un objectif rationnels. Les bâtiments plus sophistiqués résultent pour leur part d'un concept d'architecture et de design ainsi que de nombreuses autres intentions de planification, qui constituent le fondement idéologique et intellectuel de l'ouvrage. La «reconstruction» professionnelle ou le «changement d'affectation» requiert, de la part des planificateurs, une connaissance précise de ce fondement idéologique et intellectuel originel. Il ne s'agit pas de perpétuer ces anciennes intentions et ces vieux objectifs, mais d'appréhender le bâtiment d'origine dans sa globalité pour pouvoir réagir de manière adéquate. Bon nombre d'objets ont en commun trois dangers qu'il faut à tout prix éviter:

1. Le danger de la surenchère spatiale

Dans un but d'optimisation des coûts, de concentration et d'extension des possibilités d'utilisation, on tente souvent de grignoter davantage d'espace utile dans la construction ancienne. Et c'est souvent dans l'espace sous toiture que cela s'effec-

*Illustration 2.2:
Assainissement
global d'une mai-
son d'habitation
Jurastrasse, Berne,
de Kast Kaeppli
Architekten
BSA SIA. (Photo:
Rolf Siegenthaler)*



tue, parfois également par l'ajout d'une annexe. Dans les combles, l'éclairage est toujours problématique. Le moyen le plus courant de résoudre ce problème consiste à ajouter des fenêtres de toit ou des lucarnes. Mais en trop grand nombre, celles-ci surchargent la construction ancienne et lui donnent l'air d'être comme « rapiécée ». En perdant l'apparence autrefois sereine de sa toiture, la construction ancienne perd également de son naturel et semble comme étriquée dans sa nouvelle configuration. Dans le cas des annexes, l'interdépendance entre la construction ancienne et la construction nouvelle doit être précisément définie: la construction nouvelle peut être à la fois subordonnée et juxtaposée, selon le cas, mais cela doit résulter d'une étude de design précise. Dans la plupart des cas, il est déconseillé de mettre la construction nouvelle au premier plan, car la construction ancienne n'a à l'origine pas été conçue pour être subordonnée et se trouve alors écrasée par la nouvelle situation, ou est reléguée au plan de simple accessoire.

La surenchère spatiale se traduit également souvent par l'élimination des murs de séparation pour réaliser des salles de séjour immenses ou relier la cuisine et le salon. Une pratique qui détruit souvent l'ambiance propre à une construction ancienne, sans que cela en vaille réellement la peine.

2. Le danger de la surenchère technique

Les installations techniques du bâtiment se sont multipliées au cours des dernières années. Parce que jadis, l'exploitation des bâtiments était beaucoup plus simple, il faut aujourd'hui systématiquement faire face à des exigences d'équipement et de rééquipement. Toutefois, sur le plan financier comme sur le plan technique, cela s'avère bien plus compliqué que lors de l'intégration d'installations techniques dans une construction nouvelle. Mais même si ces installations sont intégrées sans problème sur le plan technique et esthétique, elles impliquent toujours une certaine appropriation disgracieuse des

anciens matériaux et structures. Il faut donc rechercher des solutions dans lesquelles toutes les pièces ne sont pas élevées au même niveau technique et où toutes les pièces les plus sophistiquées techniquement sont disposées dans une construction nouvelle. De telles solutions individualisées nécessitent toutefois de tendre non pas vers les valeurs prédéterminées à la base, mais plutôt vers ce qui est raisonnablement faisable.

3. Le danger de l'inadéquation

L'effort de design et l'ornementation, mais également le choix des matériaux et leur utilisation, ont toujours été, dans un bâtiment historique, en adéquation avec la position sociale des habitants ou de l'institution à héberger. Ce qui caractérisait la noblesse (p. ex. un ornement gravé ou du fer forgé doré) était considéré comme déplacé dans la maison d'un curé et à plus forte raison dans celle d'un ouvrier. Cette classification sociale doit être prise en compte lors d'une « construction complémentaire » et il est important d'y réagir de façon adéquate. Le choix des formes, matériaux et techniques de travail n'est ainsi pas seulement une question de goût personnel du maître d'ouvrage ou de l'architecte, mais doit correspondre avec l'existant et former avec celui-ci un ensemble plausible. Les concepts de forme, de matériau et de couleur de l'extension ou de l'intervention doivent se baser sur l'existant. Vouloir corriger et améliorer l'esthétique de la construction ancienne ne parvient dans la plupart des cas qu'à produire l'effet inverse: mieux vaut renforcer les qualités déjà existantes dans la transformation.

La construction complémentaire sur l'existant présente des risques.

Les plus importants:

1. Le danger de la surenchère spatiale
2. Le danger de la surenchère technique
3. Le danger de l'inadéquation

Analyse

Dieter Schnell
Peter Schürch

3.1 Compréhension de l'architecture (1)

Les premières analyses débouchent sur une interprétation globale de l'architecture. Il s'agit alors notamment d'identifier les intentions et les objectifs d'origine, afin d'appréhender l'essence rationnelle du bâtiment. Chaque bâtiment a été considéré par ses mandants et ses planificateurs comme étant la meilleure solution possible, avec les moyens disponibles, en réponse à une demande de construction. C'est pourquoi, lorsque l'on souhaite intervenir sur cette structure planifiée avec soin, il est essentiel de comprendre tout d'abord sa logique. Vient ensuite la phase d'évaluation: les qualités de l'objet en termes d'urbanisme, d'histoire, d'esthétique, d'espace et de matériaux doivent être inventoriées, décrites et caractérisées. Et cela ne concerne pas seulement les données «concrètes», mais aussi les ambiances, les atmosphères et les ressentis, bref: les qualités architecturales. Pour la suite du projet, la connaissance des qualités doit s'accompagner de la connaissance de leurs facteurs constituants. Pourquoi le jardin de devant possède-t-il une qualité particulière? Que doit-on impérativement conserver, voire renforcer, afin que cette qualité reste présente après la transformation? Quelles sont les qualités importantes de la succession des pièces, de leur taille et de leur répartition? Quels sont les éléments déterminants de l'atmosphère des lieux? Quelle influence les couleurs ou l'incidence de la lumière ont-elles sur l'ambiance des lieux? Une fois identifiées et précisément décrites, les qualités sont bien plus susceptibles de ressortir renforcées d'une transformation.

La logique de l'original (1.1)

Au commencement du travail d'analyse, il y a l'examen historique du bâtiment existant. Il s'agit alors tout d'abord de définir quand, par qui et dans quel but le bâti-

ment a été édifié. Il est également intéressant d'identifier le type historique du bâtiment dans ses propriétés caractéristiques et de classer le bâtiment en termes d'histoire architecturale: s'agit-il d'un type de bâtiment simple, fréquent ou plutôt d'un type rare, voire unique? L'objet est-il d'importance historique en architecture et si oui, pourquoi?

Ensuite, il convient d'étudier dans le détail l'intégration du bâtiment dans l'espace urbain, sa relation avec ses anciennes constructions voisines et de s'enquérir des différents niveaux de subordination ou de juxtaposition. En d'autres termes, on étudiera la position de la construction par rapport à la rue, la viabilisation, l'importance du jardin de devant, du jardin principal ou de la cour. Il est impératif, pour bien interpréter l'existant, de pouvoir définir la position sociale du bâtiment: Quel était son rang, quelles exigences devait-il satisfaire? À quoi reconnaît-on ces exigences? Comment le bâtiment est-il orienté (incidence du soleil)? Quelle est l'apparence de la façade?

La logique des modifications ultérieures (1.2)

Autre point important, les modifications subies par un bâtiment au fil du temps. En effet, les ajouts ultérieurs ne doivent pas forcément être considérés comme inférieurs aux éléments d'origine. Il faut en effet partir du principe que chaque mesure a été considérée en son temps comme pertinente et adéquate pour résoudre un problème donné. Cependant, il ne faut pas s'arrêter aux modifications effectuées sur le bâtiment: celles de son environnement immédiat sont également importantes. Comment le contexte urbain a-t-il évolué, le bâtiment a-t-il lui-même connu un changement important, les relations autrefois importantes, par exemple par rapport au bâtiment voisin, à l'économat, à la cour etc. ont-elles perduré? Sur ce point, il est important d'évaluer de façon très ap-

profondie chaque modification. Les interventions ultérieures peuvent être perçues comme un enrichissement ou comme une complication, comme une construction complémentaire continue ou comme un point final. Elles peuvent par la suite, dans la phase de concept, indiquer une stratégie de développement possible, une direction déjà prédéterminée, ou même réveiller l'envie de raviver un élément autrefois particulièrement important. L'étude approfondie de toutes les modifications effectuées jusqu'à aujourd'hui présente un autre avantage: celui de concevoir sa propre intervention comme le simple maillon d'une chaîne, qui n'aboutit qu'à une fin provisoire. Une observation et une réflexion à long terme du projet, sur les 40 années à venir, sont primordiales.

Qualités spatiales et esthétiques (1.3)

Les qualités spatiales et esthétiques d'un bâtiment sont difficiles à formuler. C'est pourquoi on tente de les cerner par des questions ciblées. La question fondamentale concerne toujours l'identification, possible ou non, d'une volonté de conception. Si oui, à quoi cette volonté est-elle identifiable? À quel point le concept est-il (encore) perceptible? Dans quelle mesure est-il convaincant? Cette question fondamentale doit ensuite être enrichie de questions supplémentaires ciblées, adaptées aux pièces respectives.

Tout d'abord, pour l'extérieur: Quelles sont les valeurs de l'espace extérieur? Y a-t-il des espaces extérieurs semi-publics ou privés? Comment ceux-ci sont-ils disposés par rapport à la route ou aux constructions voisines? Comment les limites sont-elles matérialisées? Comment la valorisation a-t-elle été réalisée?

En ce qui concerne l'intérieur, les questions sont généralement les suivantes: Comment l'entrée est-elle conçue? Comment les raccordements intérieurs sont-ils organisés? Quelle logique suit la disposition des pièces intérieures? Quelles sont les successions et les typologies de pièces? Quelles relations hiérarchiques peut-on identifier parmi les pièces? Quelle est l'orientation des différentes pièces? Que

peut-on dire sur la relation avec l'espace extérieur? Comment les cuisines, salles de bain et pièces annexes sont-elles conçues? Les pièces sont-elles conçues avec un degré de sophistication inégal? Y a-t-il des éléments décoratifs tels que des tapis, tableaux, plafonds en stuc, parquets etc.? Peut-on identifier un concept de matériaux ou de couleurs global? Comment s'effectue l'éclairage naturel à l'intérieur?

Qualités structurelles et matérielles (1.4)

Une analyse minutieuse de l'architecture d'un bâtiment comprend également une interrogation sur les structures et les matériaux. Les structures et la façade caractérisent un bâtiment par leur rythme, par la disposition des fenêtres et ainsi l'éclairage naturel, ainsi que par l'agencement des points de raccordement. Les matériaux, et notamment leurs surfaces visibles, sont des facteurs primordiaux pour l'ambiance du bâtiment et des pièces. L'utilisation d'un matériau particulier fait suite non seulement à des réflexions sur le plan technique et statique, mais également à des perspectives économiques, esthétiques ou sémantiques. Ce sont celles-ci qu'il convient d'identifier et de prendre en considération dans une interprétation d'ensemble. Dans ce contexte, il est également important d'identifier des traditions de construction régionales, qui influent sur l'utilisation des matériaux et les techniques de travail et d'assemblage. Quelles sont les qualités frappantes de l'intérieur (intimité, matérialisation etc.)? Quel est le rendu des vitrages (orientation, taille, disposition, répartition)? Il est également intéressant d'analyser la masse d'accumulation possible des structures du bâtiment.

Il convient donc d'appréhender le bâtiment en tant que système fonctionnel et de savoir identifier ses particularités.

	Thèmes	À prendre en compte
1	Compréhension de l'architecture	
1.1	Logique de l'originel	<ul style="list-style-type: none"> • Examen historique: architecte, maître d'ouvrage, fonction du bâtiment • Type de bâtiment, caractéristiques, concept, idée porteuse, qualités immatérielles, valorisation • Situation urbanistique: bâtiments voisins au moment de la construction, position par rapport à la rue, contexte, orientation • Accès à la maison, jardin de devant, jardin, à cour • Exigence du bâtiment, rang social • Façade
1.2	La logique des modifications ultérieures	<ul style="list-style-type: none"> • Chronologie des changements, valorisations • Changements des environs, disparition de références importantes
1.3	Qualités spatiales et esthétiques	<ul style="list-style-type: none"> • Reconstruction du concept de la disposition • Valorisations de l'espace extérieur, relation entre l'intérieur et l'extérieur • Répartition des pièces: accessibilité, références, hiérarchies, succession des pièces • Équipements: matériaux, couleurs, tapisseries, lambris, stuc, revêtements de sol etc. • ambiance des pièces, éclairage, direction de la lumière
1.4	Qualités structurelles, matérielles et constructives	<ul style="list-style-type: none"> • Structure du bâtiment: grille, symétries, rythmes, typologies régionales • Matériaux, construction: intentions économiques, esthétiques, sémantiques
2	État des lieux	
2.1	Prescriptions légales	<ul style="list-style-type: none"> • Loi sur la construction, ordonnance sur la construction, zone de construction, intentions générales de planification • Inventaires divers: Conservation des monuments et des sites, ISOS, voies de circulation historiques, IFP (Inventaire fédéral des paysages et des monuments naturels d'importance nationale) • Protection incendie, lois sur l'énergie, écologie
2.2	Offre en matière d'espace	<ul style="list-style-type: none"> • Compilation de toutes les surfaces utilisables avec indication de l'utilisation idéale: pièces chauffées, pièces spéciales (salle de bain, cuisine), pièces non chauffées telles que cave, combles, dépôts, zones intermédiaires tempérées • Spécification et caractérisation précises des zones de raccordement et des cages d'escalier • Liste des locaux extérieurs selon leur valeur
2.3	Existant matériel	<ul style="list-style-type: none"> • Construction: structure, séparation des systèmes porteurs, évaluation de leur capacité portante, caractéristiques régionales • Enveloppe du bâtiment • Matériaux et leurs joints, détails, descriptions de l'état avec indication des performances encore existantes (de défectueux à l'état de neuf) • Première exploration des possibilités de mise à niveau • Images de dommages, défauts et leur interprétation • Compréhension du bâtiment en tant que système fonctionnel
2.4	La qualité de l'énergie Consommation d'énergie	<ul style="list-style-type: none"> • Agents énergétiques; priorité: renonciation au pétrole, envisager le gaz, bois, pompe à chaleur, utilisation de l'énergie solaire, éolienne etc. • Enveloppe du bâtiment; points névralgiques: fenêtres, toit et base du toit, caves • Installations techniques; concept énergétique global; performance, économie et efficacité des installations techniques
3	Délimitation du potentiel	
		<ul style="list-style-type: none"> • Liste du potentiel (y.c. le droit de la construction), des points forts et des points problématiques • Considération de l'ancien bâtiment en tant que système – état de conservation, mesures de modernisation nécessaires

Tableau 3.1:
Liste de contrôle.

3.2 État des lieux (2)

Les données collectées doivent être considérées comme le point de départ d'un concept minutieux. Les renforcements, tels que, par exemple, l'augmentation de la portance, sont tout à fait réalisables, mais doivent être identifiés le plus tôt possible dans les tâches à réaliser. Il s'agit ici de réaliser un état des lieux complet de l'existant. Le cadre tant légal que spatial, matériel et technique doit être déterminé, les qualités et faiblesses existantes identifiées. Pour les matériaux et les installations techniques, cela concerne la durée de vie restante estimée ou les possibilités de remise en état. Dans le cas d'une construction complémentaire, l'état des lieux doit également toujours inclure la création de plus-values possibles.

Prescriptions légales en matière de construction (2.1)

Les premières investigations comprennent bien entendu la définition du cadre prescrit par la Loi sur la construction et par l'Ordonnance sur la construction. Outre les prescriptions quantifiables, par exemple sur le nombre maximum d'étages, la densité d'utilisation maximale possible, les dimensions maximales ou les distances minimales, il faut également prendre en compte de manière approfondie les facteurs plus «souples» tels que les prescriptions de design, les intentions de conservation (p. ex. aires centrales), les intentions de planification mentionnées dans des études globales ou les interprétations existantes des inventaires (p. ex. Inventaire des monuments historiques cantonaux, ISOS – Inventaire fédéral des sites construits d'importance nationale à protéger en Suisse, Inventaire fédéral des voies de communication historiques de la Suisse, IFP – Inventaire fédéral des paysages, sites et monuments naturels d'importance nationale). S'y ajoutent les prescriptions restrictives de la sécurité anti-incendie, des lois sur l'énergie et d'autres documents spécifiques à un projet donné.

L'offre en matière d'espace (2.2)

Chaque bâtiment offre un certain espace utilisable. L'emplacement des raccords et des cages d'escalier ou d'ascenseur, ainsi que la répartition des pièces, renferment un potentiel d'utilisation, mais rendent en même temps difficile un changement fondamental d'organisation des différentes pièces. À un moment avancé de la planification, plus le futur plan des pièces peut être amené à coïncider avec l'offre existante en matière d'espace, moins les mesures requises pour adapter le bâtiment aux nouvelles exigences seront profondes. Il est important de bien cerner l'offre actuelle en matière d'espace, dans un premier temps sans penser à l'utilisation ultérieure, afin de ne pas entraver le processus suivant d'interrogation sur les nouvelles affectations d'utilisation. Ainsi, il ne suffit pas d'inventorier les dimensions et qualités des principales pièces chauffées, de la cuisine et de la salle de bain, ainsi que des zones d'entrée et de passage tempérées. Il faut également inclure les pièces non chauffées de la cave, du galetas ou de la réserve. Il en va de même pour les espaces extérieurs: balcons, terrasses, tonnelles, jardins privés, jardins de devant pour la viabilisation, espaces de stationnement etc.

L'existant matériel (2.3)

Plus on connaît les constructions et les matériaux d'une construction ancienne et mieux l'on a analysé leur portance et autres caractéristiques ainsi que leur durée de vie restante, plus on peut estimer précisément le potentiel, les possibilités, les risques et les dangers d'une intervention, et mieux le projet peut être adapté à l'objet dès le début. La compréhension du concept statique des éléments porteurs et non porteurs, des propriétés acoustiques et des possibilités de renforcement correspondantes des poutres, des propriétés de la charpente par rapport aux mesures énergétiques etc. doit résulter d'une analyse approfondie des matériaux. Les matériaux doivent être considérés non seulement individuellement, mais aussi dans leurs relations et assemblages mutuels. En



outre, il faut réaliser des descriptions d'état allant de défectueux à neuf, permettant d'estimer et d'évaluer les possibilités d'utilisation future d'un élément. Il est également impératif de prêter attention aux dommages apparents, car ceux-ci renseignent sur les zones problématiques et les éventuels défauts des matériaux ou des structures.

L'état énergétique (2.4)

La consommation d'énergie est le seul domaine dans lequel une construction ancienne doit obligatoirement être plus performante après la restauration et la transformation. Étant donné que, pour des raisons esthétiques, constructives ou financières, les solutions applicables aux constructions nouvelles ne le sont pas aux constructions anciennes sans des réajustements individuels, la connaissance précise de tous les types des matériaux utilisés est aussi importante que l'évaluation de leur

état de conservation. Les solutions sur mesure ne peuvent réussir que si l'existant est parfaitement connu. Les points névralgiques tels que les combles et la toiture, la transition entre le mur et la toiture, la frontière thermique entre le rez-de-chaussée chauffé et la cave non chauffée, doivent être étudiés et analysés dans le détail. Souvent, les fenêtres sont considérées comme des points névralgiques et leur remplacement est dès le début considéré comme inévitable. Néanmoins, étant donné que les fenêtres contribuent dans une large mesure à l'esthétique d'une construction ancienne, leur remplacement est souvent problématique si l'on souhaite préserver l'authenticité du bâtiment. Les éventuelles possibilités de restauration doivent être élaborées exclusivement sur la base d'études de fonctionnement précises de toutes les fenêtres existantes. L'état de conservation des fenêtres peut grandement varier selon leur emplacement.

Illustration 3.1: Maison mitoyenne Schwalbenweg, de Halle 58 Architekten, Berne. (Photo: Christine Blaser)

Tandis que dans les zones exposées, les dommages peuvent être très importants, on trouve encore souvent des fenêtres très bien conservées dans les endroits protégés. Une analyse détaillée du bâtiment porte ainsi sur les composants individuels ainsi que sur chacune des fenêtres. Les éléments de construction doivent être étudiés dans leur détail et leur exposition (façade nord, exposition aux intempéries etc.) doit être documentée. Il est également impératif d'analyser non seulement les possibilités d'isolation thermique, mais aussi les possibilités d'économie en termes de génération de chaleur. Les installations présentes doivent être contrôlées par rapport à leur performance future et les ressources disponibles sur place doivent être inventoriées. Ce qui était autrefois considéré comme allant de soi est redécouvert par les projets les plus récents: ils travaillent avec différentes zones climatiques. Il n'est pas nécessaire de chauffer chaque pièce ou pièce adjacente à 20 degrés.

3.3 Délimitation du potentiel (3)

Il faut d'abord rappeler que l'observation détaillée d'un bâtiment en tant que système de pièces et d'éléments liés et adaptés les uns aux autres doit bien entendu également s'appliquer aux bâtiments anciens. À l'inverse de la construction nouvelle, la coopération systémique de toutes les pièces et éléments d'une construction ancienne a prouvé son efficacité depuis plusieurs décennies. Pour formuler les objectifs ultérieurement, il est important d'identifier de la façon la plus globale possible le caractère systémique d'une construction ancienne. Les forces et les faiblesses doivent être répertoriées. Une construction ancienne possède toutefois également ses problématiques, qui peuvent être de nature technique, matérielle, spatiale ou même esthétique. Ces problématiques, qu'elles soient d'origine ou soient apparues au fil des années, doivent être identifiées. Les limites de capacité de charge, de capacité de rendement et d'utilisation doivent être fixées.

Les indications sur les améliorations, les renforcements ou les compléments nécessaires doivent être les plus précises possibles. Les zones contaminées et les obligations de rénovation qui en résultent doivent être identifiées. C'est sur la base des nombreux facteurs en relation directe ou indirecte les uns avec les autres que s'effectue la formulation du potentiel: petit à petit, lentement, en prenant toujours en compte les différents aspects. Il ne s'agit-là pas encore de formuler un objectif, de définir le chemin à suivre, mais seulement et uniquement de montrer les possibilités, les limites, les conditions et les marges de manœuvre. L'argumentaire n'est pas tout blanc ou tout noir, tous les niveaux intermédiaires avec leurs évaluations pondérées sont également à prendre en compte. Ce processus permet d'établir des bases fiables qui soutiennent les planificateurs dans la phase créative du développement de stratégies de solution, de concepts ou d'études de projet.

Processus de planification, stratégie et communication

Philippe Lustenberger

Dans le cadre d'une «construction complémentaire», les processus de planification et de réalisation doivent satisfaire des exigences particulièrement élevées, issues du bien foncier à faire évoluer, des demandes du propriétaire immobilier et d'autres exigences externes. Plus particulièrement, la définition de la stratégie immobilière et l'élaboration des processus en équipe, et par là également la communication au sein des processus, représentent des éléments importants dans le cadre d'une «construction complémentaire». C'est pourquoi il convient en tout premier lieu de définir les stratégies de base du propriétaire immobilier, par exemple:

- Le bien immobilier, dans le cas d'un portfolio minimal, constitue-t-il une partie de sa prévoyance personnelle pour la retraite?
- Le propriétaire immobilier d'une zone bâtie de grande envergure a-t-il pour objectif de mettre à disposition des logements bon marché?
- L'investissement est-il basé sur des perspectives de rentes élevées par un placement immobilier?
- Favorise-t-on des objectifs à court terme ou plutôt des objectifs durables, à long terme?

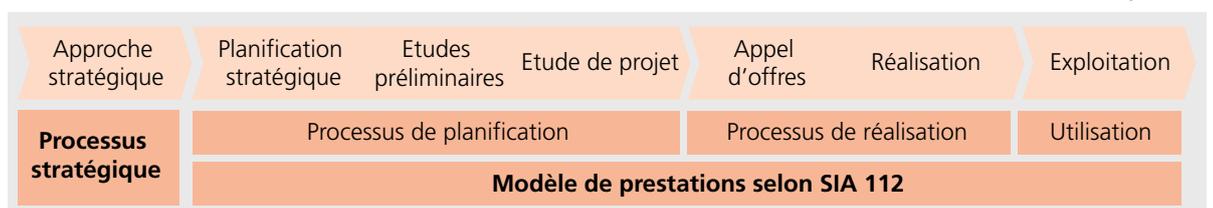
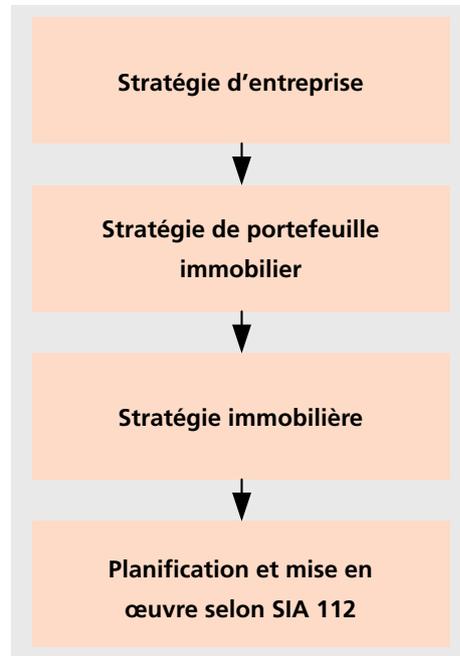
Pour définir cette situation de départ, il faut sensibiliser le propriétaire. Quels sont les risques et les chances liés à cette stratégie, par exemple est-il possible que les revenus locatifs attendus ne couvrent pas l'investissement et influent ainsi de façon négative sur le rendement du bien immobilier? Tout cela doit être précisé avant la planification effective de la construction

et la réalisation. Cela signifie également que le propriétaire, positionné en tant qu'«investisseur», doit reconnaître et assumer sa responsabilité vis-à-vis des processus de définition de la stratégie, de planification et de réalisation!

Car les investisseurs non professionnels, notamment les propriétaires de portfolios minimums et les propriétaires d'un unique bien immobilier, se reposent sur les compétences et la capacité des conseillers et des planificateurs à estimer correctement les perspectives d'investissement et leurs conséquences. La définition de la stratégie se base ainsi sur l'association concrète entre la situation initiale avec les potentiels du bien immobilier, le lieu d'implantation et le marché de l'immobilier. Les capacités de communication sont le fondement

Illustration 4.1 (à gauche): Structure hiérarchique de la «stratégie d'entreprise», de la «stratégie de portefeuille immobilier», de la «stratégie immobilière», de la «planification et de la mise en œuvre» selon la norme SIA 112 et de leur lien logique. (Source: SIA 112; IPBIKBOB)

Illustration 4.2 (en bas): Vue d'ensemble du processus stratégique, du processus de planification, du processus de réalisation et de l'utilisation. Les trois dernières correspondent au modèle de phases selon la norme SIA 112, selon lequel la phase de «planification stratégique» ne couvre que la «formulation des besoins» au niveau de la mise en œuvre concrète et la «stratégie de solution»; les points de départ parents ne sont pas pris en compte. (Source: selon SIA 112)



d'une relation de confiance mutuelle qui permettra de mettre en œuvre avec succès le projet d'investissement.

Les processus de planification et de réalisation sont suffisamment décrits dans les normes SIA et sont, à l'échelle du pays, largement approuvés par les planificateurs, les entreprises de construction et les maîtres d'ouvrage. Nous n'entrerons donc pas ici dans un débat approfondi sur les processus de planification et de réalisation. Néanmoins, les processus de définition de la stratégie, en amont de la norme SIA, seront analysés de manière plus approfondie, afin d'expliquer leurs conséquences dans les différentes formes de collaboration des processus subséquents.

4.1 Approches stratégiques

Pour parvenir à définir la stratégie, les conseillers et les planificateurs doivent pouvoir cerner les besoins de l'investisseur et les confronter aux possibilités et potentiels du bien immobilier. Le marché de l'immobilier joue alors également un rôle important, au même titre que le lieu d'im-

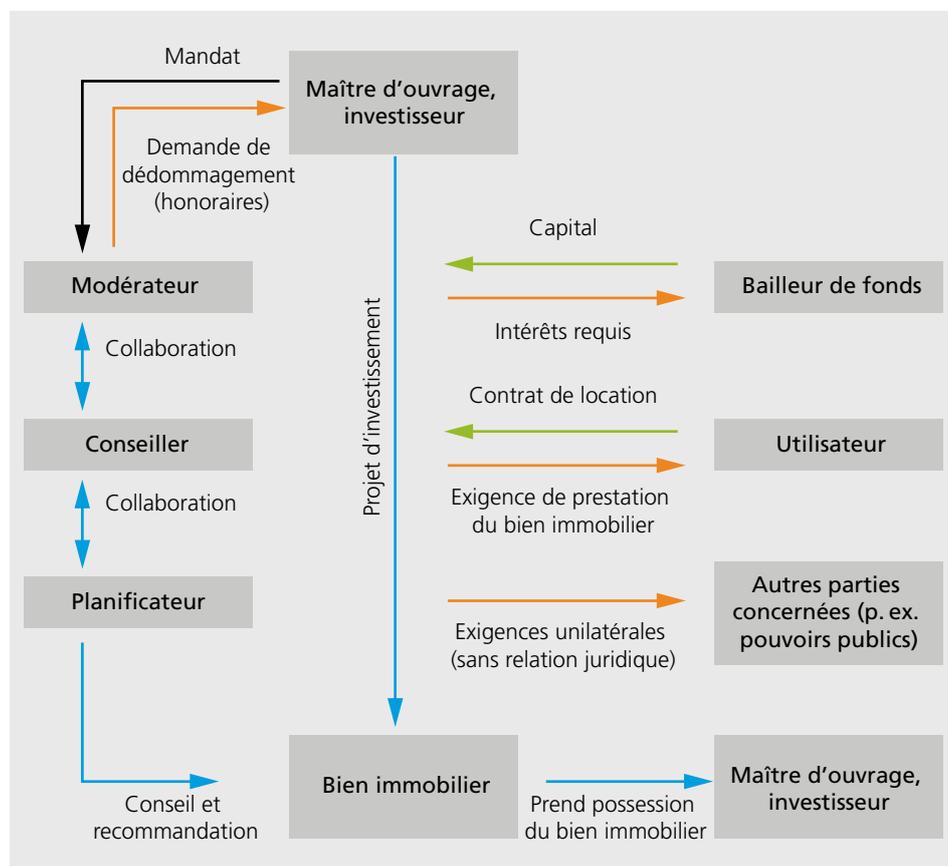
plantation du bien immobilier. Cela résulte de la considération du bien immobilier en termes d'économie de marché: il engage le capital utilisé sur une longue période (des durées d'utilisation de 50 à 80 ans sont courantes pour les éléments porteurs) et est ainsi fixement lié au terrain de construction, c'est-à-dire immobile.

4.2 Formes de collaboration

Dans le processus de définition de la stratégie, le bien immobilier, et notamment son lieu d'implantation et le marché de l'immobilier, sont analysés, évalués et confrontés à l'évolution sociale. À partir de là, on peut ensuite élaborer des scénarios de planification future et vérifier ainsi la stratégie à définir. Lors de la définition de la stratégie, différents rôles sont envisageables, en fonction de la situation de l'investisseur et de la tâche à accomplir (plusieurs rôles peuvent ensuite échoir à une même personne):

■ Le maître d'ouvrage lance le projet d'investissement et possède des exigences quant au résultat attendu.

Illustration 4.3: Réseau de relations dans le projet d'investissement et relation juridique des parties impliquées. Le volet de gauche montre la coopération dans le modèle contractuel «Mandat selon l'art. 394 CO, à droite, l'octroi de prêts, le contrat de bail (art. 253 CO) et les exigences unilatérales, p. ex. des pouvoirs publics, sont représentés par les conditions d'obtention du permis de construire.



■ Le modérateur conduit le processus de définition de la stratégie et contrôle la réalisation des objectifs.

■ L'investisseur reprend le bien immobilier après sa réalisation. Il faut distinguer les investisseurs institutionnels (fonds immobiliers, assurances, caisses de retraite etc.) et le maître d'ouvrage privé. Le maître d'ouvrage peut simultanément aussi être l'investisseur.

■ Le bailleur de fonds soutient le maître d'ouvrage dans la mise à disposition du capital d'investissement, contre un dédommagement correspondant. Sa confiance dans le projet d'investissement s'exprime à la hauteur du rendement des capitaux (estimation des risques) que le bailleur de fonds attend du maître d'ouvrage.

■ Le conseiller interprète les bases de décision, les évalue et émet une recommandation à l'attention du maître d'ouvrage. Il recherche les conséquences que peut avoir une décision.

■ Le planificateur évalue l'état et indique les potentiels de développement.

■ Les utilisateurs font part de leurs exigences vis-à-vis de l'objet et se déclarent ou non prêts à utiliser le bien immobilier.

■ Les propriétaires du terrain mettent le terrain correspondant en vente ou en location pour une durée déterminée (attribution dans le droit de la construction). D'autres participants sont envisageables. Par exemple, les pouvoirs publics qui évaluent la possibilité de délivrer un permis de construire (demande préliminaire) et les propriétaires des fonds contigus ayant droit de recours.

4.3 Considérations légales

Les parties prenantes à un processus de définition de stratégie ont différentes positions juridiques. Le modérateur, le conseiller et le planificateur sont considérés comme des mandataires selon l'art. 394 du Code des obligations. Le maître d'ouvrage et les utilisateurs conviennent d'un loyer selon l'art 253 du Code des obligations, le début du contrat de location n'étant pas lié au processus de définition de stratégie mais pouvant commencer uniquement après la réalisation. D'autres par-

ticipants peuvent, de façon unilatérale, avoir des exigences vis-à-vis du projet et ce, sans entrer dans un rapport de droit avec le maître d'ouvrage ou l'investisseur. «De manière unilatérale» signifie que le maître d'ouvrage ou l'investisseur ne peut en général opposer aucune revendication contraire. Cela s'applique par exemple dans le cas des exigences formelles en matière de permis de construire. À l'inverse du processus de définition de stratégie, dans le processus de planification, en plus du mandat, des contrats d'entreprise à façon peuvent être conclus selon l'art. 363 du Code des obligations, tandis que le processus de réalisation comprend presque exclusivement des contrats d'entreprise. Dans la phase d'exploitation, on a généralement des contrats de location.

4.4 Conséquences sur les processus suivants

Ce qui, dans le processus de définition de la stratégie, requiert une réelle créativité d'élaboration, est sensiblement restrictif pour l'élaboration des processus de planification et de réalisation. C'est à partir du choix de la forme du déroulement, de la décision entre les prestataires individuels, les planificateurs généraux, les entrepreneurs généraux ou les entrepreneurs globaux, que se dessine la forme de la communication dans la mise en œuvre du projet d'investissement. C'est pourquoi il est important de pouvoir anticiper la forme de communication qui sera la plus appropriée dans chaque processus. Cela passe par une convention d'objectifs et de prestations concrète, qui doit être réalisée à différents niveaux.

4.5 Sources

- IPB/KBOB: Gestion immobilière durable Identifier les risques pour se donner la chance de les prévenir Guide pour la prise de décisions, Berne 2010. Figure sous: www.kbob.ch → Thèmes et prestations → Cockpit Gestion immobilière durable
- Schulte, K.-W.: Handbuch Immobilien-Projektentwicklung, 2^e édition, Rudolf Müller Verlag, Cologne 2002
- Norme SIA 112, Étude et conduite de projet, SIA, Zurich 2014

Durabilité économique

Klaus Eichenberger, Heinz Mutzner

5.1 Comment rendre durable un bien immobilier?

Un bien immobilier est économique, donc durable sur le plan économique, lorsque, sur toute sa durée de vie, il génère des revenus permettant de l'exploiter et de le préserver ainsi que des rendements appropriés. Un bien immobilier génère des revenus lorsqu'il fournit une utilisation pour laquelle une personne, influencée par l'offre et la demande du marché, est prête à payer.

Les facteurs qui influencent les avantages de biens immobiliers sont très divers. L'avantage peut être évalué, par exemple, sur la base de la qualité d'utilisation et de jouissance, du sentiment de bien-être dans les pièces, du potentiel de rendement, de la contribution à l'économie régionale, de la contribution au paysage urbain, de l'impact sur la société ou de la manière dont ses besoins en ressources sont évalués.

Pour les utilisateurs d'un bien immobilier, y compris les propriétaires en tant qu'utilisateurs, les avantages comprennent une variété de composantes sociales, écologiques et culturelles. Celles-ci ne peuvent être quantifiées en termes monétaires, mais ils déterminent l'attrait du bien. De cette façon, dans le cadre du marché, ils influencent les prix et les revenus locatifs qui sont pertinents et réalisables pour les propriétaires en tant qu'investisseurs et influencent ainsi la rentabilité ou la durabilité économique d'un bien.

Afin d'illustrer l'effet des différents facteurs d'influence sur la rentabilité, les auteurs ont estimé la mesure dans laquelle les thèmes du Standard suisse de construction durable (SNBS) [1] s'influencent mutuellement pour un immeuble d'habitation et les ont présentés dans un diagramme des relations dans l'illustration 5.1, en se concentrant sur les impacts les plus importants.

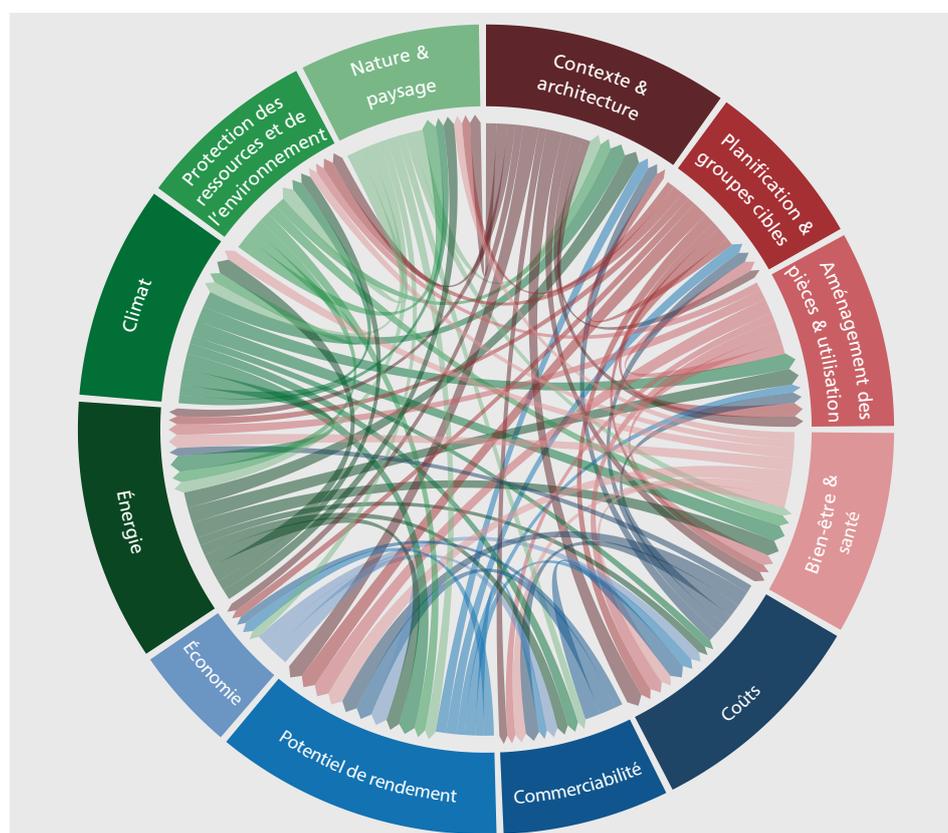


Illustration 5.1: Diagramme des liens du Standard Construction durable Suisse (SNBS) pour les domaines de la société (rouge), de l'économie (bleu) et de l'environnement (vert).

Plus un secteur est grand dans l'illustration 5.1, plus il est interconnecté. De nombreux effets émanent des questions environnementales et sociales. Les thèmes centraux de l'efficacité économique, le potentiel de revenus et les coûts, sont fortement influencés par des conditions-cadres et les décisions prises dans d'autres thèmes. Quiconque veut construire de manière économiquement durable, c'est-à-dire réussir sur le plan économique avec des biens immobiliers, doit tenir compte de ces relations et traiter les effets des questions environnementales et sociales sur la rentabilité.

5.2 Marché

Sur le marché de l'immobilier, l'offre et la demande pour les terrains et les immeubles ainsi que leur utilisation (utilisation propre, utilisation par des tiers et location) interagissent. Le propriétaire du bien immobilier souhaite obtenir, sur le cycle de vie de celui-ci, un rendement adéquat. Le demandeur, pour sa part, est prêt à acheter ou à louer l'objet proposé si celui-ci répond à ses attentes. Le locataire évaluera l'avantage du bien, notamment à l'aide de sa dépense globale pour le loyer, c.-à-d. d'une part le loyer avec chauffage et d'autre part, la macro et micro-situation ainsi que les frais supplémentaires associés, par exemple relatifs à la mobilité. Les effets externes des biens publics (accès aux parcs et espaces verts, infrastructure, voisinage, vue etc.) jouent également un rôle central. Des études [2] sur les immeubles montrent en outre que de plus en plus de groupes de locataires et d'acheteurs souhaitent louer ou acquérir des biens immobiliers durables, respectueux de l'environnement et sains à habiter. Le demandeur évalue l'offre selon différents critères et, lorsque cette évaluation s'avère positive, intègre le bien immobilier dans sa sélection. Il met ainsi en place une sorte de système d'évaluation privé.

Pour le propriétaire de biens immobiliers, agir durablement signifie considérer l'objet sur l'ensemble de son cycle de vie. En font partie, des pronostics sur la demande future, les rendements, les coûts d'explo-

tation et les investissements nécessaires [3]. Il doit également prendre en compte l'environnement, la concurrence et le développement du quartier. Il peut s'avérer durable de renoncer à un investissement lorsque l'environnement ne permet pas de dégager de plus-value. Les investissements doivent être planifiés de façon systématique sur une période appropriée afin que le bien immobilier soit conforme au marché à tout moment, et apporte sur le long terme l'avantage escompté.

L'évolution des standards en matière de construction doit également être prise en compte. Un bâtiment planifié conformément aux prescriptions actuelles en matière de consommation énergétique et d'émissions de CO₂ sera probablement obsolète sur la majeure partie de son cycle de vie, si les standards déterminants deviennent plus sévères.

5.3 La construction durable réduit le risque économique

Dans chaque projet, notamment avec une reconstruction souvent très exigeante, il est intéressant d'élaborer concrètement plusieurs variantes envisageables afin d'évaluer toutes les possibilités qui peuvent sembler judicieuses. Pour un bien d'habitation existant, par exemple, on évalue les variantes de l'«assainissement énergétique» et de l'«entretien courant». Ces variantes déjà simples en soi ne sont pas faciles à confronter, car pour évaluer la durabilité économique d'un bien immobilier, il faut le considérer sur une longue période et prendre ainsi en compte de nombreuses hypothèses sur les conditions futures du marché, ce qui implique beaucoup d'incertitudes. C'est pourquoi il est recommandé de travailler sur des scénarios englobant une période suffisamment longue, par exemple la durée de vie d'importants groupes d'éléments de construction. Dans ces scénarios, on peut estimer les modifications des revendications sociales, les prix volatils de l'énergie, les changements climatiques, le pouvoir d'achat des acteurs du marché etc.

Cette procédure est expliquée ci-après dans un exemple simple. Pour un objet plus ancien, avec appartements loués, il y a lieu d'évaluer les variantes «assaini» et «non assaini». Ces deux variantes concernant un appartement sont décrites dans le Tableau 5.1. Après l'assainissement, les loyers comprenant les coûts énergétiques sont équivalents. Les ratios sur les 30 prochaines années sont estimés dans une simulation utilisant un calcul de flux de trésorerie actualisés (DCF).

La méthode de l'actualisation de flux de trésorerie (cash-flow) sert à évaluer la rentabilité des investissements. Basée sur l'évaluation d'entreprise, dans laquelle elle est appliquée depuis plusieurs décennies, la méthode de l'actualisation des flux de trésorerie est présentée dans la norme SIA 380 et est aujourd'hui de plus en plus utilisée dans l'évaluation des biens immobiliers, à tel point qu'elle fait office de standard depuis quelques années [7].

Dans la méthode DCF, tous les flux de trésorerie annuels futurs (= recettes – dépenses) actualisés sont additionnés dans un indice, la valeur actuelle nette. Un investissement ou un projet est alors rentable lorsque la valeur de capital est au minimum égale à zéro. Plus la valeur du capital est élevée, plus une variante est économique. Il est important, et parfois déconcertant pour les investisseurs («Nous avons pourtant tant investi!»), que la méthode prenne en compte exclusivement des excédents de

revenus futurs, les investissements effectués par le passé n'étant pas retenus dans ce calcul, alors leurs conséquences et leurs revenus financiers le sont; on s'arrête uniquement au profit futur. Un investissement qui ne générera vraisemblablement aucun profit est ainsi sans valeur.

La simulation présentée ici avance des hypothèses aléatoires – sur la base des prix historiques du pétrole – pour les changements futurs et réels des coûts de l'énergie. Il est également supposé que les revenus locatifs du bien non assaini diminueront en raison de l'inoccupation et des réductions de prix dès que le loyer brut du bien non assaini sera sensiblement plus élevé que celui du bien assaini en raison de l'augmentation des coûts énergétiques. En raison de la baisse des revenus, la valeur en capital du bien non assaini diminue à mesure que les prix de l'énergie augmentent. Le modèle de calcul détaillé est disponible en ligne [6]. Cette simulation est effectuée 100 fois et l'illustration 5.2 présente la répartition des valeurs du capital.

La plupart des valeurs du capital du logement non assaini sont inférieures à celles du logement assaini et présentent une forte variabilité, c'est-à-dire que la valeur marchande du logement non assaini est soumise à un risque plus élevé.

La décision de renoncer à une rénovation ou une reconstruction est susceptible d'entraîner un risque plus élevé dans de nombreuses autres situations également.

Caractéristiques	Non assaini	Assaini	Unité
Indice énergétique	120	50	kWh/m ² SBP et an
Prix de l'énergie	0.1	0.1	Fr./kWh
Coûts de l'énergie	12.0	5.0	Fr./m ² SBP et an
Surface habitable	120	120	m ²
Coûts de l'énergie par logement	1440	600	Fr./an
Durée de vie de l'assainissement		30	ans
Coûts d'assainissement par logement		31 500	Fr.
Taux de multiplication de la valeur		60 %	
Augmentation des intérêts locatifs en raison de l'assainissement		840	Fr./an
Loyer net	21 600	22 440	Fr./an
Loyer y c. coûts de l'énergie	23 040	23 040	Fr./an

SBP = surface brute de plancher

Tableau 5.1:
Description des deux variantes «non assaini» et «assaini».

5.4 Cycle de vie

Les biens immobiliers durent en principe cinquante ans et plus. Ils vieillissent alors sur le plan technique et au niveau des exigences des utilisateurs (vieillessement fonctionnel et social), ce qui signifie que leur positionnement sur le marché se dégrade. Le vieillissement technique agit, sur différentes périodes, tant au niveau du bien immobilier lui-même que de ses composants individuels. La structure du bâtiment joue alors un rôle important. Lorsque les structures sont clairement séparées en systèmes primaires, secondaires et tertiaires, ou que lors d'une rénovation, cette séparation peut être réalisée, les coûts relatifs à l'entretien [4] et aux modifications sont moins importants. Il est plus difficile de décrire le vieillissement fonctionnel et social, car il faut alors prendre en compte les changements économiques, sociaux et écologiques à venir. Il existe pour ce faire, au moins pour les logements, des outils [7] qui doivent cependant être adaptés à la demande future (les scénarios). Dans tous les cas, un bien immobilier qui permet différentes utilisations est davantage enclin à générer durablement un avantage qu'un bien immobilier réalisé sur mesure pour une seule utilisation. Néanmoins, la première location peut être plus difficile si l'objet de l'offre n'est pas spécifiquement

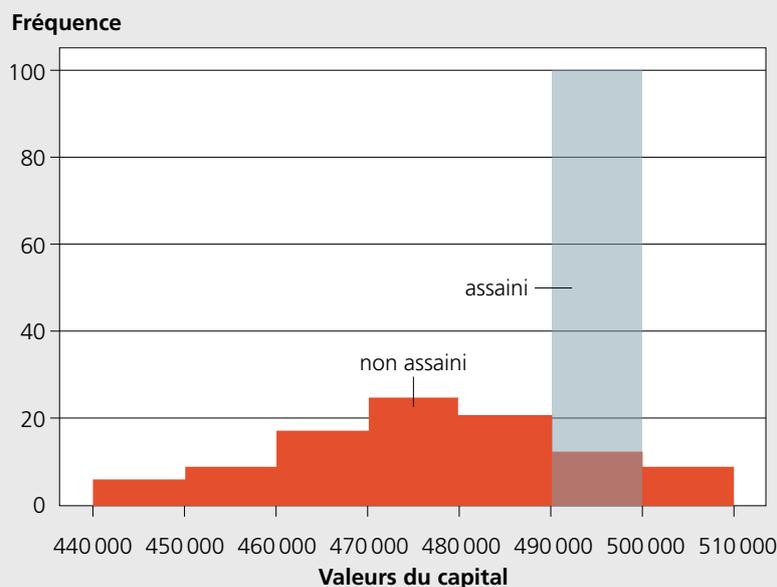
axé sur un groupe cible. Un entretien ou une rénovation réguliers permettent de préserver ou même d'augmenter la valeur du bien immobilier tout au long de son cycle de vie. Les mesures doivent être planifiées de façon systématique, à intervalles appropriés, jusqu'à ce que finalement, la construction atteigne la fin de son cycle de vie et soit déconstruite. Un lien indéfectible existe donc entre le cycle de vie du bien immobilier, les mesures d'investissement et leur conformité durable au marché.

5.5 Période d'observation

Dans toutes les réflexions sur la durabilité économique d'un bien immobilier, la période d'observation joue un rôle important. Pour considérer le cycle de vie de manière globale, la première grande rénovation cyclique doit être achevée. Pour cela, il faut planifier les cycles d'entretien, ce qui implique à nouveau de prendre en compte la durée de vie des composants du bien immobilier, à savoir, la durabilité technique d'un objet.

Conformément à la définition de la durabilité selon l'ONU, la période d'observation doit être suffisamment longue pour intégrer les intérêts de la prochaine génération. Un aspect important de la définition de la durabilité est la liberté de création

*Illustration 5.2:
Distribution de
fréquence des va-
leurs en capital des
variantes «assaini»
et «non assaini»
pour 100 scénarios
différents d'évolu-
tion des prix de
l'énergie.*



des générations futures. Dans le domaine immobilier, cela signifie que nous devons réaliser des constructions aux utilisations flexibles, faciles à déconstruire.

5.6 Sources

- [1] «SNBS Bâtiment», disponible sous: www.nnbs.ch/standard-snbs-hochbau. [accédé: 06-août-2019].
- [2] N. Mastacchi, Immobilienfonds: die Zukunft ist grün. Eine Analyse über Green Real Estate Funds und REITs, 2011.
- [3] Société Suisse des ingénieurs et des architectes, norme SIA 469, Conservation des ouvrages; Terminologie, Objectifs de la conservation, Mesures et activités de conservation, Dossier d'ouvrage. Zurich: SIA, 1997.
- [4] RICS Switzerland, Swiss valuation standards (SVS): best practice of real estate valuation in Switzerland, 2^e édition revue et complétée. Zurich: vdf Hochschulverlag, 2012.
- [5] Société Suisse des Architectes et des Ingénieurs, norme SIA 480, Calcul de rentabilité pour les investissements dans le bâtiment. Zurich: Société suisse des ingénieurs et des architectes, 2016.
- [6] H. Mutzner, «DCF_Simulation», 06-août-2019. Disponible sous: https://github.com/hMutzner/DCF_Simulation. [accédé: 06-août-2019].
- [7] Office fédéral du logement (OFL), «Système d'évaluation de logements SEL». Disponible sous: www.wbs.admin.ch/de. [accédé: 06-août-2019].

Enveloppe du bâtiment

Niklaus Hodel,
Patrick Hertig

L'enveloppe du bâtiment et ses principaux composants (la façade extérieure, les fenêtres, la toiture, les plafonds et les sols) doivent satisfaire à des exigences élevées, non seulement sur le plan de l'architecture et de la statique, mais également sur le plan de la physique du bâtiment, en termes de chaleur, de froid, d'humidité, de bruit et d'incendie. L'enveloppe du bâtiment, conjointement avec les installations techniques, constitue un facteur déterminant au regard du bilan thermique d'un système de bâtiment. La grandeur la plus importante est ainsi la valeur Q_h (le besoin de chaleur pour le chauffage) ou la valeur limite légale $Q_{h,li}$ en kWh/m²a. Les exigences s'appliquent conformément au Tableau 6.1.

Dans le cas des constructions anciennes notamment, les déperditions d'énergie par les composants (déperditions thermiques par transmission) sont d'une importance capitale. Une enveloppe de bâtiment isolée de façon optimale permet en effet d'économiser plus de 50 % de l'énergie d'exploitation. En outre, l'inertie thermique (masse) joue également un rôle important, beaucoup trop sous-estimé aujourd'hui dans le bilan énergétique. Les déperditions thermiques par transmission et les températures de surface qui en résultent peuvent être visualisées par imagerie infrarouge (Illustr. 6.1). Ces prises de vue permettent d'effectuer des comparaisons, mais non de quantifier les déperditions thermiques.

Dans ce contexte, les isolants thermiques jouent un rôle primordial. Sur le marché, on trouve un grand nombre de matériaux isolants organiques et anorganiques, pour certains déjà anciens et éprouvés, pour d'autres plus innovants. La propriété la plus importante d'un matériau isolant est la conductivité thermique λ en W/mK. À celle-ci s'ajoutent également d'autres aspects essentiels, tels que l'énergie grise, l'aptitude à la déconstruction et au recyclage ainsi que d'autres critères écologiques (www.eco-bau.ch). Les enveloppes

Tableau 6.1:
Exigences posées au besoin de chaleur pour le chauffage.

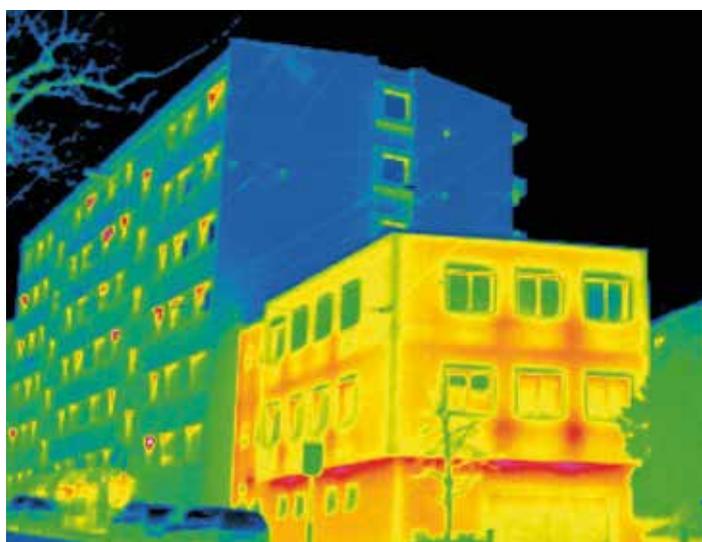
Exigences posées au besoin de chaleur de chauffage	Construction nouvelle	Transformation
Exigences légales	1,0 $Q_{h,li}$	1,5 $Q_{h,li}$
Minergie	1,0 $Q_{h,li}$	aucune
Minergie-P	0,7 $Q_{h,li}$	0,9 $Q_{h,li}$

Note: Les constructions nouvelles et les extensions de bâtiments existants (surélévations, agrandissements etc.) doivent être construites et équipées de manière à ce que leurs besoins en énergie pour le chauffage, l'eau chaude, la ventilation et la climatisation soient proches de zéro. Le besoin en énergie finale pondérée par an pour le chauffage, l'eau chaude, la ventilation et la climatisation dans les constructions nouvelles ne doit pas dépasser les valeurs spécifiées. Les extensions de bâtiments existants sont exemptées de cette exigence si la surface de référence énergétique nouvellement créée est inférieure à 50 m² ou ne dépasse pas 20 % de la surface de référence énergétique de la partie du bâtiment existant et ne dépasse pas 1000 m².

Source: Modèles de prescriptions énergétiques des cantons (MoPEC) 2014. État janvier 2020: Les MoPEC 2014 ne sont pas encore mis en œuvre dans tous les cantons.

Digression: Le besoin en chaleur pour le chauffage, défini par la norme SIA 380/1 «Besoins de chaleur pour le chauffage», quantifie le besoin en chaleur d'un bâtiment dans des conditions standard d'utilisation défini au niveau de l'énergie utile. Cela ne décrit pas l'efficacité de la production de chaleur, car le besoin en chauffage est déterminé à l'interface entre le bâtiment et la production de chaleur.

Illustration 6.1:
Image thermographique – exemple de bonne et mauvaise (absence) isolation.



des bâtiments ne constituent cependant pas seulement des facteurs de déperdition d'énergie. Elles peuvent aussi permettre, selon l'orientation et l'environnement, de collecter de l'énergie, d'une part de façon passive par les fenêtres, d'autre part grâce à des systèmes solaires actifs montés sur le toit ou sur les murs.

6.1 Prescriptions énergétiques

Vers 1960: certaines législations cantonales en matière de construction exigent une protection thermique suffisante de $U = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ pour les murs extérieurs.

Vers 1975: à la suite de la crise pétrolière (1973), prescriptions minimales pour des valeurs U moyennes, associées à des prescriptions minimales pour des éléments in-

dividuels conformément à la recommandation SIA 180/1 «Protection thermique des bâtiments en hiver». C'est à cette époque que commence la grande production industrielle de matériaux d'isolation thermique (laine de verre, laine de pierre, polystyrène).

Vers 1990: détermination de valeurs limites et cibles pour la consommation annuelle par m^2 de surface de référence énergétique (SRE), pour des utilisations standard d'un bâtiment, conformément à la norme SIA 380/1.

À partir de 2009: le modèle de prescriptions énergétiques des cantons (MoPEC) et ainsi de nombreuses lois et ordonnances cantonales sur l'énergie se réfèrent, pour les valeurs limites et cibles et le type de pro-

Illustration 6.2:
Valeurs typiques de la demande d'énergie pour le chauffage et l'eau chaude dans les bâtiments d'habitation.
(Source: AWEL)

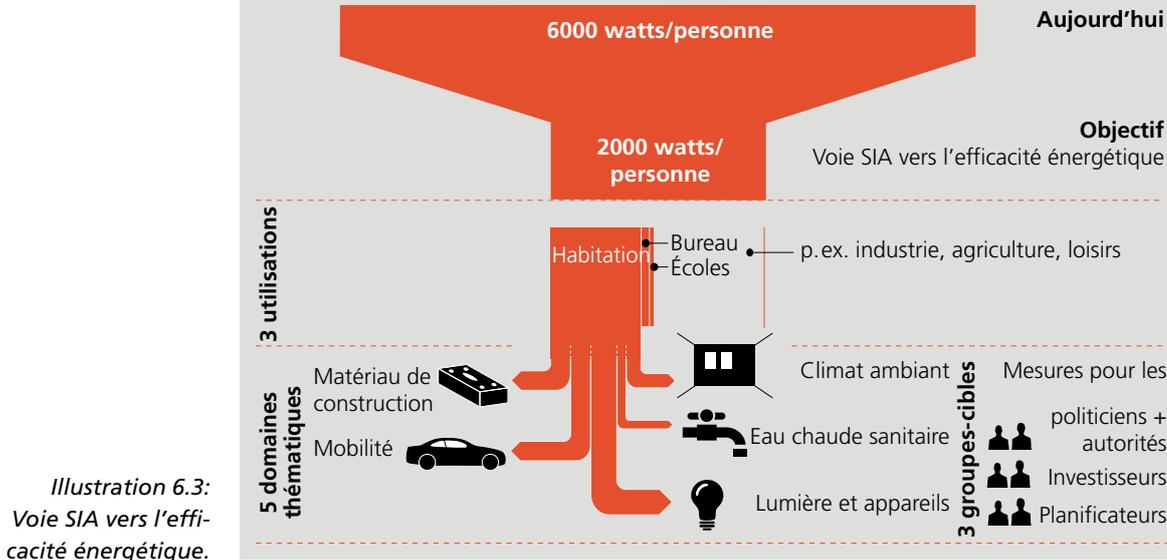
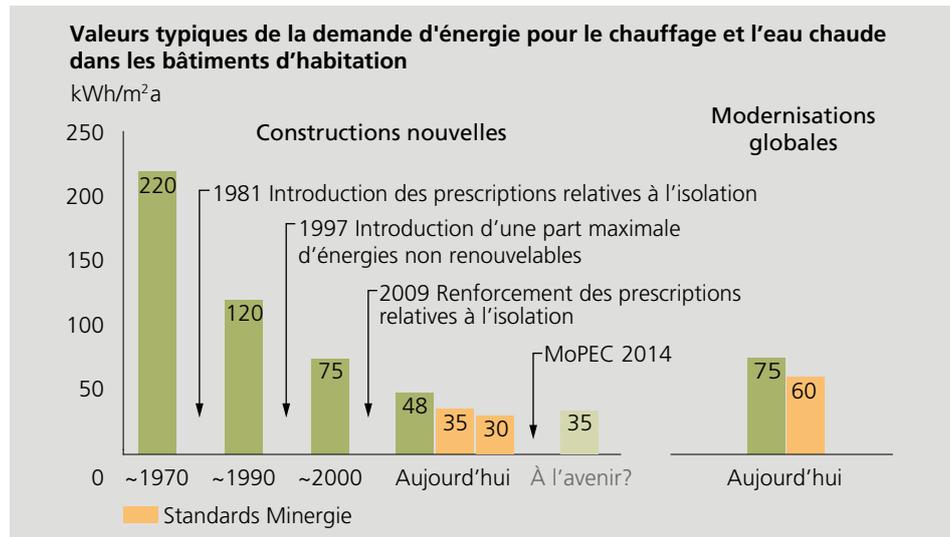


Illustration 6.3:
Voie SIA vers l'efficacité énergétique.

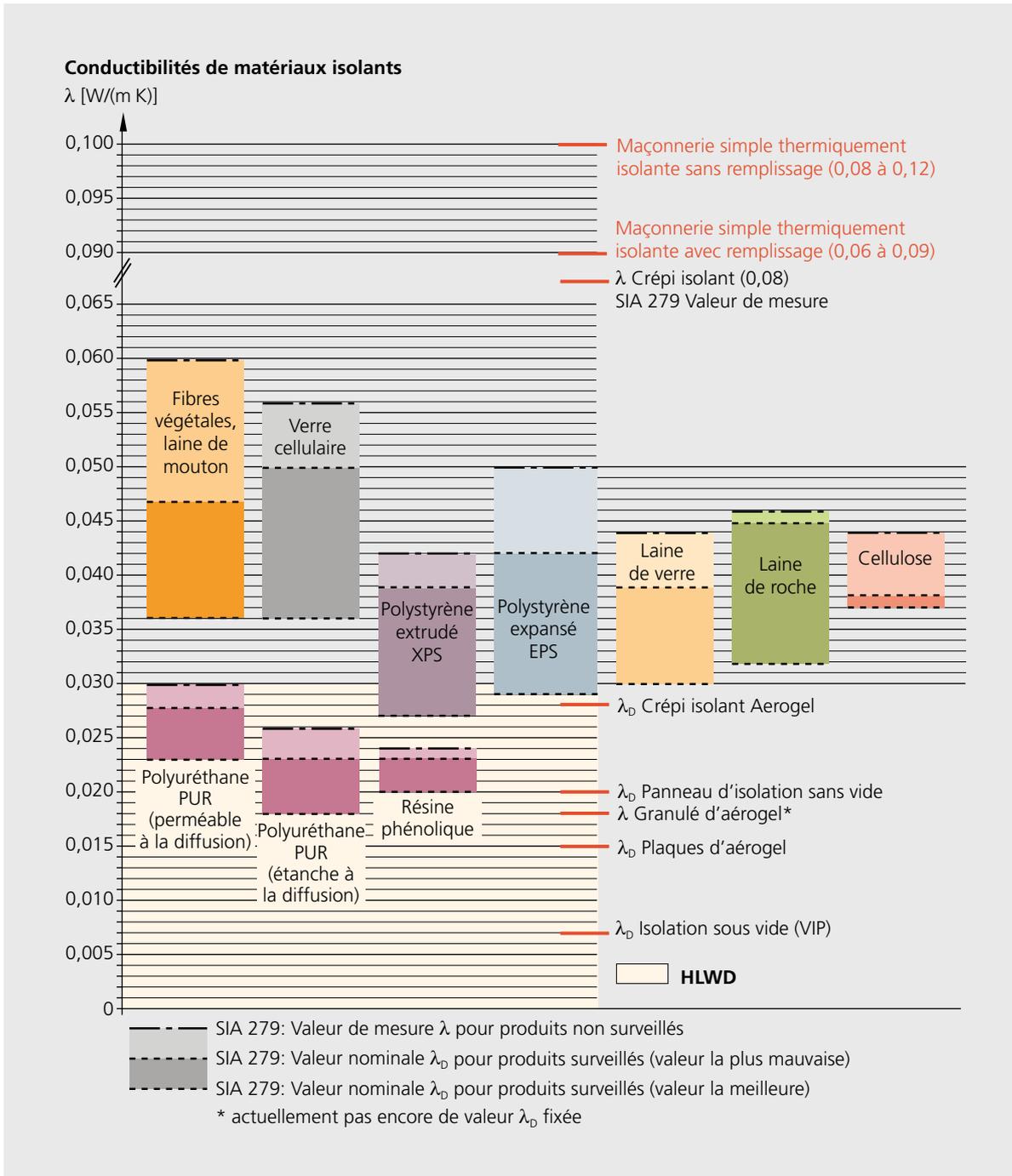


Illustration 6.4: Pour les isolants thermiques, il convient de prendre en compte les caractéristiques de la norme SIA 279. Les produits avec une valeur λ inférieure à 0,030 font partie des isolants thermiques haute performance (HLWD). La norme SIA 279 (2018) inclut également des produits de maçonnerie État 10/2019. (Source: Marco Ragonesi, Gregor Steinke, Faktor Verlag)

Élément d'enveloppe contre élément de construction	Valeurs limites U_{li} en W/m ² K		Valeurs cibles U_{ta} en W/m ² K	
	l'extérieur ou enterré à moins de 2 m	locaux non chauffés ou enterré à plus de 2 m	l'extérieur ou enterré à moins de 2 m	locaux non chauffés ou enterré à plus de 2 m dans le terrain
Éléments opaques	0,25	0,28	0,1	0,1
Fenêtres, portes vitrées	1,0	1,3	0,8	0,8
Portes	1,2	1,5	0,8	0,8
Portails (selon SIA 343)	1,7	2,0	0,8	0,8
Caissons de stores	0,5	0,5	–	–

Tableau 6.2: Valeurs limites et valeurs cibles des coefficients de transmission thermique U pour une température ambiante de 20 °C. (Source: MoPEC 2014/SIA 380/1)

cédé de chauffage, à la norme SIA 380/1 «L'énergie thermique dans le bâtiment».

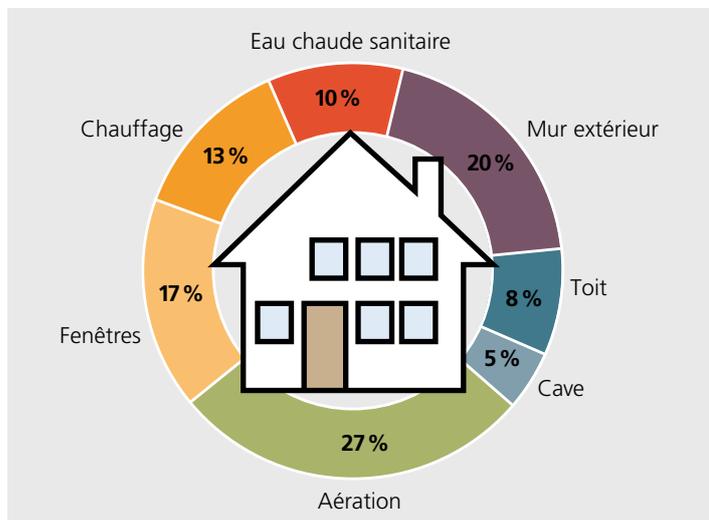
À partir de 2020: l'habitat à quasi zéro énergie devient le standard de l'UE.

Pour les bâtiments existants, on pourra choisir entre deux types de prescriptions: pour les agrandissements, les élévations et les transformations de type construction nouvelle, les exigences en matière de construction nouvelle s'appliquent. Pour les transformations et les changements d'affectation, on appliquera les exigences relatives à la transformation. Sur ce point, la norme SIA 380/1 prescrit des valeurs limites d'exigence du système (correspondant à 150 % des exigences pour les constructions nouvelles) ainsi que des exigences pour les éléments individuels. En Suisse, il n'y a aucune obligation de réaliser des rénovations à visée thermique. Néanmoins, si des mesures sont mises en œuvre sur l'enveloppe du bâtiment, celles-ci doivent être conformes à la législation. L'ampleur des mesures mises en œuvre est alors déterminante. Pour des interventions conséquentes, les prescriptions en matière de transformation s'appliquent.

6.2 Encouragement des assainissements énergétiques

Les cantons déterminent individuellement quelles mesures ils encouragent et à quelles conditions. Par exemple, les assainissements Minergie/P/A, une mise à niveau de la classe d'efficacité dans le système CECB

Illustration 6.5: Déperditions thermiques moyennes d'une maison à plusieurs logements des années 1960 avec une consommation de 20 l de mazout par m² SRE.



ou, dans certains cas, des éléments de construction assainis conformément aux exigences spécifiques de la valeur U sont prises en charge. La base est fournie par le Modèle d'encouragement harmonisé des cantons (ModEnHa 2015). Le CECB Plus (Certificat énergétique cantonal des bâtiments) aide à la planification prospective du projet de construction et constitue dans certains cas également une condition pour recevoir des subventions.

6.3 Stratégies de modification

Pour chaque bâtiment et ses éléments, des stratégies d'amélioration très différentes sont possibles.

■ **Rénovation:** mesures de préservation de l'état de référence ou amélioration de l'état existant.

■ **Assainissement:** mesures d'amélioration de l'état de la construction ou mesures visant à atteindre l'état de référence (p.ex. protection thermique et phonique). L'ampleur de l'intervention varie selon la prescription de l'état de référence (p.ex. assainissement selon prescription ou selon Minergie, Minergie-P, Maison passive etc.)

■ **Rénovation:** les éléments peuvent être renouvelés comme un tout, de manière à répondre aux exigences techniques et constructives les plus récentes.

■ **Transformation:** un élément endosse un nouveau rôle à la suite d'un changement d'affectation, d'une extension ou d'une transformation (p.ex. aménagement de toiture, agrandissement, transformation etc.).

■ **Remplacement:** des éléments ou le bâtiment lui-même sont entièrement déconstruits et remplacés par d'autres éléments nouveaux.

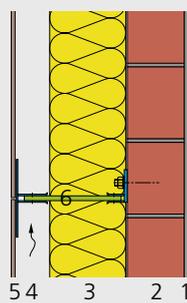
Le renforcement énergétique d'un bâtiment nécessite en général trois étapes importantes.

1. Minimisation des déperditions:

tendre vers une valeur U inférieure à 0,20W/m²K, réduire ou éviter les ponts thermiques, tendre vers des enveloppes de bâtiment étanches à l'air, intégrer une aération douce avec récupération de chaleur.

2. Maximisation des apports: prévoir des fenêtres ou des vitrages avec une valeur g élevée et une faible valeur U ; privilégier au maximum les surfaces vitrées au sud, au sud-est et au sud-ouest et éviter les ombrages; une masse d'accumulation interne augmente l'apport solaire. Compte tenu du climat plus chaud, il est également important de ne pas négliger la protection solaire en été. Les dispositifs de protection solaire mobiles permettent d'obtenir un résultat optimal en hiver comme en été.

3. Collecte et utilisation efficaces de l'énergie, renouvelable si possible: couvrir au maximum le besoin résiduel en chaleur pour le chauffage et l'eau chaude avec des énergies renouvelables. Les systèmes techniques requis pour ce faire doivent être adaptés au besoin et au bâtiment et doivent permettre une production d'énergie efficace (agents énergétiques, génération de chaleur, système de distribution, installation de ventilation).



Structure de la construction

- 1 Crépi intérieur (existant)
- 2 Maçonnerie existante (variable)
- 3 Couche d'isolation thermique (variable)
- 4 Ossature de façade/ventilation par l'arrière
- 5 Habillage de façade/protection contre les intempéries/installation solaire
- 6 Console thermiquement isolée ou ossature bois

Valeurs U avec $\lambda = 0,038 \text{ W/mK}$

$d = 15 \text{ cm}$; $U = 0,20 - 0,23 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

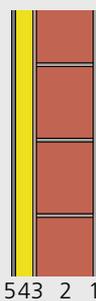
$d = 20 \text{ cm}$; $U = 0,17 - 0,20 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

$d = 25 \text{ cm}$; $U = 0,13 - 0,15 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

Indications relatives à la construction

- La maçonnerie intérieure porteuse peut se constituer d'une maçonnerie en briques, en pierres de taille ou d'une coque de béton.
- Matériaux: plaques de laine minérale (laine de roche et laine de verre)

Illustration 6.6:
Isolation extérieure ventilée.



Structure de la construction

- 1 Crépi intérieur (existant)
- 2 Maçonnerie existante (variable)
- 3 Couche d'adhérence
- 4 Crépi d'isolation thermique (différents produits)
- 5 Système de revêtement par crépi isolant

Valeurs U avec $\lambda = 0,06 \text{ W/mK}$

$d = 3 \text{ cm}$; $U = 1,1 - 1,4 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

$d = 5 \text{ cm}$; $U = 1,0 - 1,2 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

$d = 10 \text{ cm}$; $U = 0,6 - 0,8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

Indications relatives à la construction

- La maçonnerie intérieure porteuse peut se constituer d'une maçonnerie en briques, en pierres de taille ou d'une coque de béton.
- Le crépi isolant est généralement appliqué avec des épaisseurs de 2 à 8 cm. Les indications spécifiques au produit doivent être respectées.
- Les crépis isolants peuvent être appliqués dans des épaisseurs variables (bordures de fenêtre, huisseries de fenêtres, façade) et peuvent également être appliqués à l'intérieur ou en combinaison avec une isolation intérieure ou extérieure

Illustration 6.7:
Crépi isolant extérieur/intérieur.

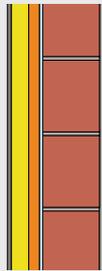
6.4 Façades

Avant 1920: la technique du bâtiment se caractérisait souvent par un caractère propre à son époque. On utilisait de nombreuses décorations issues des différentes époques architecturales précédentes. Une haute qualité artisanale et des efforts personnels importants étaient nécessaires. Les murs de fondation des bâtiments étaient édifiés avec une maçonnerie simple. Ces maisons sont aujourd'hui souvent protégées, de sorte qu'il est très difficile de mettre en œuvre des mesures énergétiques.

Jusqu'à env.: maçonneries homogènes et constituées de peu de couches, avec une valeur U autour de 1,2 W/m²K.

Autour de 1970/80: maçonneries homogènes et à plusieurs couches (avec isolation thermique minimale) en différents matériaux avec valeurs U de 0,4 à 0,8 W/m²K.

À partir de 1990: développement de systèmes de murs extérieurs hautement isolés avec des valeurs U inférieures à 0,20 W/m²K.



6543 2 1

Structure de la construction

- 1 Crépi intérieur (existant)
- 2 Maçonnerie existante (variable)
- 3 Pare-vapeur (selon la structure)
- 4 Panneau VIP 10 mm à 30 mm*
- 5 Isolation thermique supplémentaire
- 6 Système de crépi extérieur

* uniquement lorsque aucun autre matériau n'est possible

Valeurs U avec $\lambda = 0,008 \text{ W/m K}$

d = 2 cm; U = 0,20 – 0,40 W/m²K

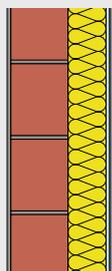
d = 4 cm; U = 0,15 – 0,20 W/m²K

d = 6 cm; U = 0,10 – 0,15 W/m²K

Indications relatives à la construction

- Une planification et une réalisation soignées sont cruciales.
- Les plaques ne peuvent pas être coupées, les surfaces résiduelles doivent être dotées d'une isolation thermique traditionnelle.
- Combiner l'isolant VIP avec des systèmes traditionnels ou de la laine minérale.
- Le principal domaine d'application dans la construction comprend les isolations de terrasses dans les logements en attique (construction nouvelle).
- Les applications du fabricant sont à respecter, car il existe pour les façades uniquement des cas particuliers et des prototypes.

Illustration 6.8:
Isolation VIP
extérieure.



5 4 3 2 1

Structure de la construction

- 1 Crépi intérieur, habillage
- 2 Pare-vapeur (adapté à l'isolation)
- 3 Isolation thermique
- 4 Maçonnerie (existante)
- 5 Crépi extérieur (existant)

Valeurs U avec $\lambda = 0,04 \text{ W/m K}$

d = 5 cm; U = 0,60 – 0,80 W/m²K

d = 10 cm; U = 0,30 – 0,40 W/m²K

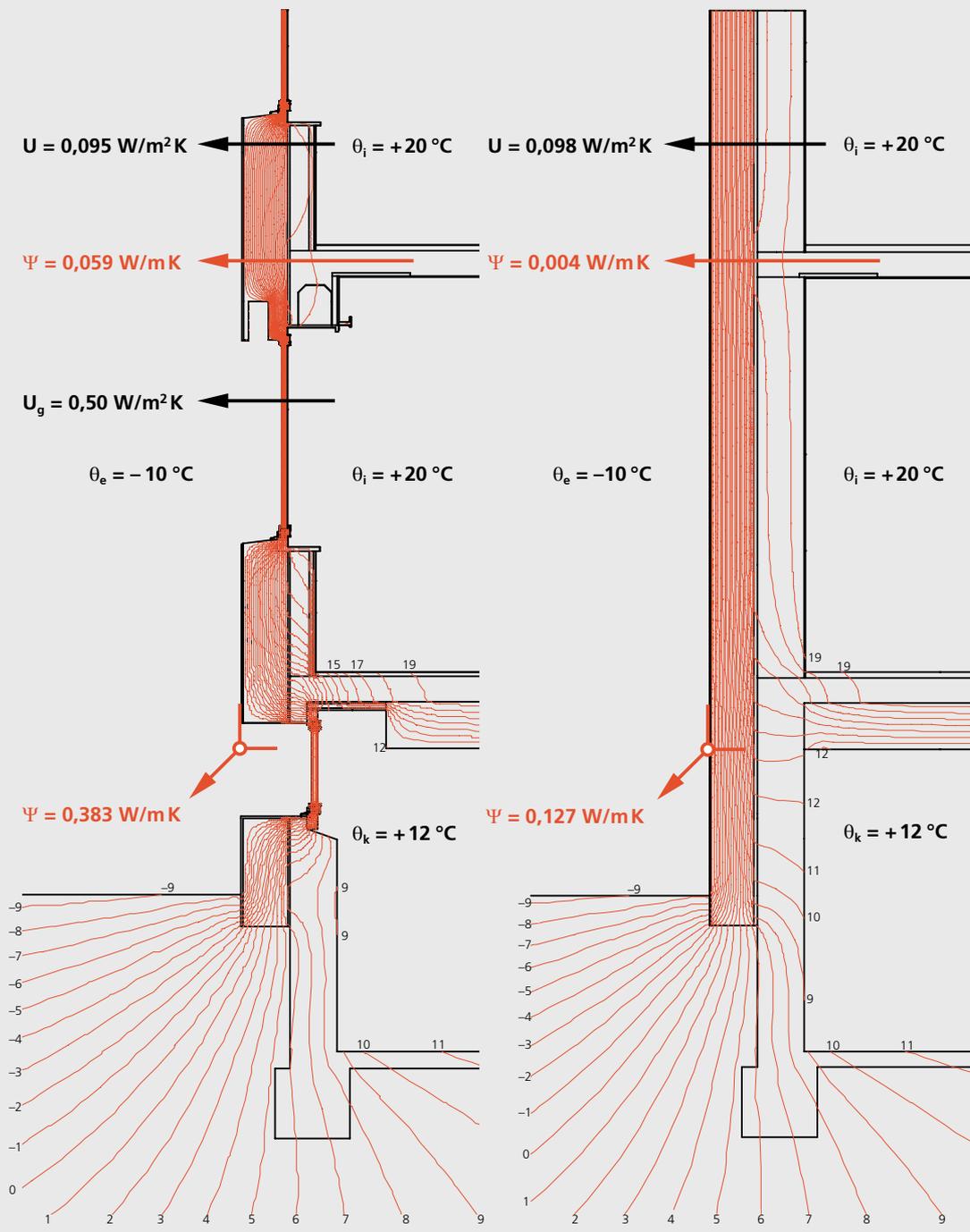
d = 15 cm; U = 0,20 – 0,25 W/m²K

Indications relatives à la construction

- Des ponts thermiques apparaissent à travers l'isolation intérieure au niveau des plafonds, murs et plinthes.
- Dans le cas d'une isolation intérieure, la diffusion de vapeur est à contrôler et à réguler avec un pare-vapeur ou verre cellulaire.
- Les raccords, joints et interfaces doivent être étanches.
- Il est également possible d'utiliser des crépis d'isolation, éventuellement en combinaison avec une isolation extérieure réduite.

Illustration 6.9:
Isolation intérieure.

Illustration 6.10: Pour les assainissements selon le standard Minergie-P, l'isolation thermique extérieure (crépi ou habillage ventilé par l'arrière) est de loin l'option la plus efficace. Par rapport à la situation réelle, les déperditions de chaleur peuvent être réduites de 76,7% pour atteindre 64,8 W/m (façade avec fenêtres) et de 89,6% pour atteindre 17,9 W/m (coupe de façade sans fenêtre). L'influence des ponts thermiques est importante, de l'ordre de 21,8 à 34,4%; les plinthes et les appuis de fenêtre étant les principaux éléments problématiques. (Source: Marco Ragonesi/ Faktor Verlag)



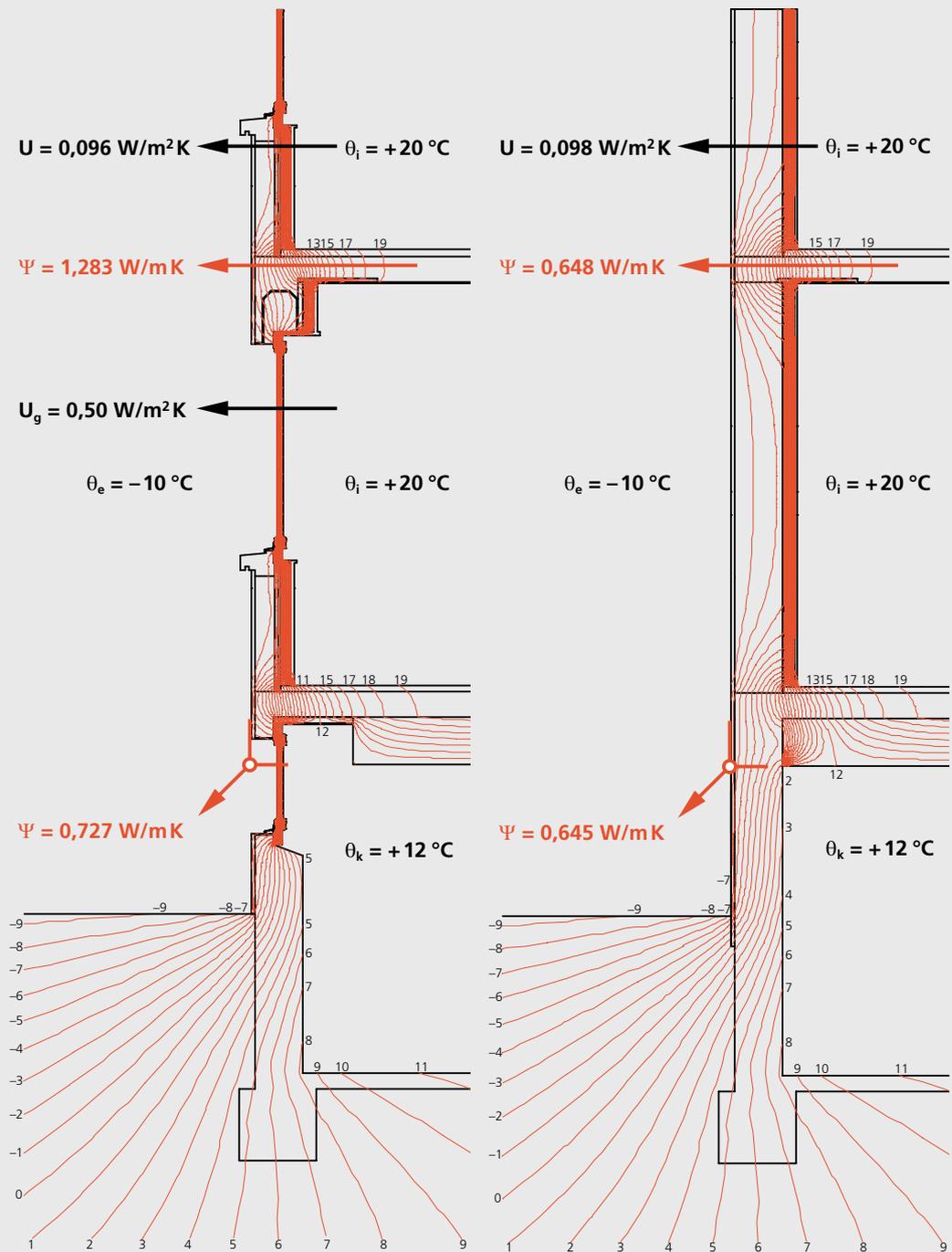
Déperditions de chaleur par transmission

	[W/m]	[%]
Mur extérieur (allège/linteau)	7,9	12,2
Fenêtres	34,6	53,4
Ponts thermiques:		
Intégration de fenêtres	9,0	13,9
Appui de dalle/linteau	1,8	2,8
Culot	11,5	17,7
Total	64,8	100,0

Déperditions de chaleur par transmission

	[W/m]	[%]
Mur extérieur	14,0	78,2
Ponts thermiques:		
Appui de plafond	0,1	0,6
Culot	3,8	21,2
Total	17,9	100,0

Illustration 6.11: Bien entendu, dans le contexte de Minergie-P, personne ne peut sérieusement envisager d'assainir un bâtiment au moyen d'une isolation intérieure (p. ex. à l'aide de panneaux VIP comme dans cet exemple). Étant donné l'influence des ponts thermiques (plinthes, appuis de plancher, linteau) entre 62,3 et 73,4%, le succès est très limité. Dans le cas de la coupe de la façade avec fenêtres, les déperditions thermiques peuvent être réduites de 60% pour atteindre 111,2 W/m et dans le cas de la coupe sans fenêtre, de 69,3% pour atteindre 52,7 W/m. Malgré des éléments aux caractéristiques analogues, les déperditions thermiques par rapport à l'enveloppe de bâtiment isolée sur l'extérieur sont supérieures de 71,6 à 194,4%. (Source: Marco Ragonesi/ Faktor Verlag)



Déperditions de chaleur par transmission		
	[W/m]	[%]
Mur extérieur (allège/linteau)	7,3	6,6
Fenêtres	34,6	31,1
Ponts thermiques:		
Intégration de fenêtres	9,0	8,1
Appui de dalle/linteau	38,5	34,6
Culot	21,8	19,6
Total	111,2	100,0

Déperditions de chaleur par transmission		
	[W/m]	[%]
Mur extérieur	14,0	26,6
Ponts thermiques:		
Appui de plafond	19,4	36,8
Culot	19,3	36,6
Total	52,7	100,0

Mesures: dans le cas des maisons de l'époque des «fondateurs» et des constructions un peu plus récentes, les encadrements des fenêtres et des portes sont par exemple en pierre naturelle et souvent joliment ornés. Une isolation extérieure semble difficilement envisageable pour des raisons architecturales et de protection du patrimoine. Souvent, une isolation thermique intérieure n'est pas non plus possible, de sorte que pour ces maisons, on ne peut qu'utiliser de fines couches de crépi isolant sur le mur extérieur, et encore, dans certaines conditions seulement.

L'assainissement le plus pertinent en termes de physique du bâtiment et d'efficacité énergétique est une isolation thermique extérieure recouvrant le plus de surface possible. La masse thermiquement active et souhaitée reste dans la maison (à l'intérieur du périmètre d'isolation), le risque de condensation dans la construction est réduit au minimum et les ponts thermiques sont éliminés ou, au moins, réduits. Il est en outre possible, avec une isolation suffisamment épaisse, d'intégrer dans celle-ci certains systèmes techniques, tels que la ventilation, les conduites sanitaires et les gaines électriques. Bien entendu, il ne peut s'agir que d'éléments tels que des tuyaux, des conduites, des câbles etc., les éléments mobiles tels que les clapets, soupapes, régulateurs de toutes sortes etc. devant rester accessibles.

Variantes de rénovations de façades

Les façades compactes sont possibles, mais les meilleurs systèmes sont néanmoins les façades ventilées avec laine minérale et protection adéquate contre les intempéries. Cette protection contre les intempéries peut être garantie à l'aide d'éléments photovoltaïques à couche mince. De tels éléments PV sont aujourd'hui disponibles en de très nombreuses variantes.

Lorsque seul l'ajout d'une faible épaisseur de construction n'est possible et qu'un caractère mural doit être préservé, un crépi d'isolation thermique peut être parfaitement approprié. Selon le produit, il peut être appliqué avec une épaisseur jusqu'à env. 8 cm.

Pour obtenir un bon résultat de physique de la construction et d'efficacité énergétique, on peut combiner d'autres applications pour une isolation extérieure ultérieure: les matériaux d'isolation thermique haute performance (VIP), en matériau isolant à éléments sous vide ou en aérogel. Souvent, les isolations intérieures représentent une alternative. Elles ne sont pas cependant sans risque. Une isolation intérieure découple la masse intérieure et la construction de l'enveloppe est décalée dans la zone froide. Il en résulte une pluralité de ponts thermiques, p. ex. au niveau des raccords de mur et de plafond, au niveau des huisseries des fenêtres, au niveau des dalles traversantes de balcon. Le risque de dommage augmente en raison des températures de surface plus basses (humidité accrue, condensat de surface) et des raccords non étanches peuvent engendrer des dommages dus à l'humidité à l'intérieur des éléments. Dans ce contexte, les têtes de poutres en bois enfoncées dans la maçonnerie existante sont particulièrement menacées. Un décollement hermétique des têtes de poutres est généralement très difficile et le comportement au séchage est massivement altéré lors de l'application d'une isolation interne.

Illustration 6.12: Installation PV intégrée dans la façade. Les éléments PV ventilés font office de revêtement contre les intempéries. (Source: Prix Solaire Suisse)



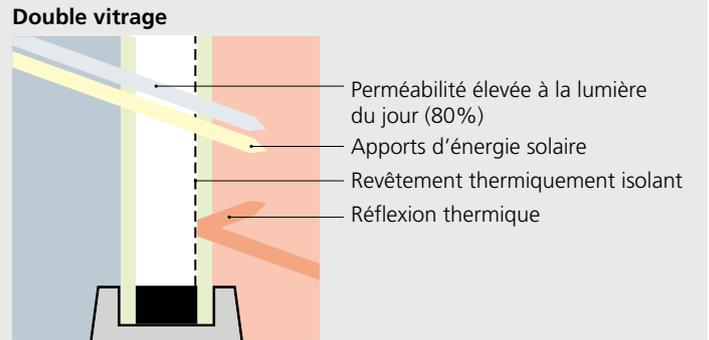
6.5 Fenêtres

Existant: Existant: les bâtiments existants disposent pour la plupart de vitrages isolants (IV) de différentes qualités, et bon nombre de maisons anciennes possèdent certainement aussi un double vitrage. Le simple vitrage devrait avoir totalement disparu, à quelques rares exceptions près. Certains immeubles administratifs sont encore équipés de vitrages spéciaux (colorations, verres teintés et revêtus etc.). En outre, un certain nombre de bâtiments (écoles, immeubles de bureaux, musées etc.) possèdent certes des vitrages isolants d'une génération précédente, mais également des profilés de fenêtre (en alu) non isolés thermiquement, qui présentent des ponts thermiques très importants.

Mesures: de très grands progrès technologiques ont été réalisés dans le domaine des vitrages au cours des 20 dernières années. Les remplissages spéciaux avec des gaz tels que l'argon ou le krypton, et surtout les revêtements infrarouges (IR) et les triples vitrages IV à deux revêtements IR, ont révolutionné le marché du vitrage. Les premiers vitrages IV avec composite alu en bordure de vitrage et remplissage à l'air présentent des valeurs U de plus de $2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$. Les nouveaux remplissages en gaz, et notamment les revêtements IR, permettent d'atteindre des valeurs comprises entre $1,1$ et $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$. Les nouveaux triples vitrages IV avec 2 revêtements IR, quant à eux, présentent des valeurs de $0,6$ à $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$. La toute dernière technologie sous vide a permis d'obtenir des vitrages qui, avec moins de couches de verre et une épaisseur réduite, atteignent des valeurs $U \leq 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Les châssis de fenêtres ont également subi une évolution importante, bien que moins remarquable que celle des vitrages. Les bons châssis présentent aujourd'hui des valeurs U inférieures à $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$. Des châssis spéciaux permettent désormais de réaliser des constructions de fenêtres (Windows) de U_w inférieur à $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ avec $U_g = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$.

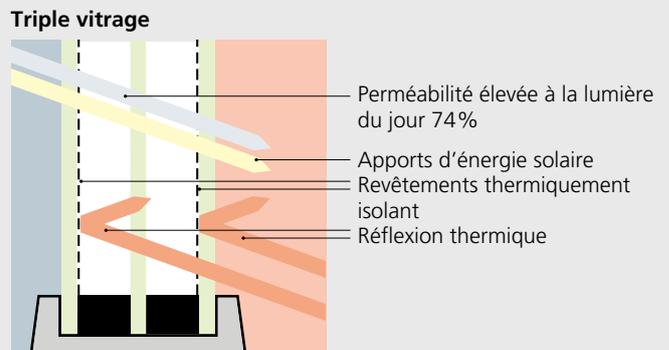
La mesure la plus efficace, qui n'est par ailleurs pas toujours la plus simple, reste le remplacement complet de la fenêtre. Dans



Les caractéristiques techniques

Épaisseur d'élément	Valeur U_g selon EN 673 ($\text{W/m}^2\text{K}$)	Valeur g selon EN 410 (%)	Transmission lumineuse (%)	Réflexion lumineuse (%)
24	1,0	60	80	13

Degré de remplissage en gaz: 90% d'argon



Les caractéristiques techniques

Épaisseur d'élément	Valeur U_g selon EN 673 ($\text{W/m}^2\text{K}$)	Valeur g selon EN 410 (%)	Transmission lumineuse (%)	Réflexion lumineuse (%)
40	1,0	64	74	20
36	0,8	60	73	19
40	0,7	60	73	19

Degré de remplissage en gaz: 90% d'argon

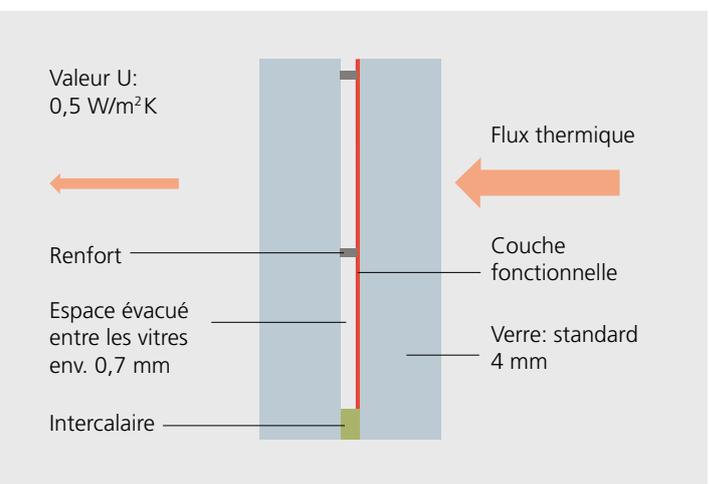


Illustration 6.13:
Types de verre.
(Source: Glas Troesch)

Illustration 6.14:
Verre sous vide.

le cas des fenêtres, on mise sur une durée de vie économique de 25 ans. Dans les maisons des années 1980 et antérieures, il faut à juste titre remplacer les fenêtres par de nouveaux éléments nettement meilleurs sur le plan technique. Un remplacement des fenêtres peut permettre de réaliser jusqu'à 30 % d'économies d'énergie. Toutefois, n'oublions pas que l'utilisation de fenêtres hautement isolantes et surtout étanches nécessite une modification du comportement d'utilisation. Le renouvellement de l'air et l'élimination de l'excès d'humidité de l'air sont assurés dans un bâtiment non étanche. Dans une maison rénovée, les utilisateurs doivent assurer eux-mêmes ce renouvellement de l'air si aucune installation de ventilation n'est prévue.

Dans le cas des bâtiments protégés, un remplacement du vitrage peut permettre de réduire les déperditions d'énergie et d'améliorer le confort. Dans le cas de doubles vitrages protégés et encore intacts, une rénovation et une étanchéification, un doublage sous la forme d'une fenêtre à caisson ou la réactivation de la contre-fe-

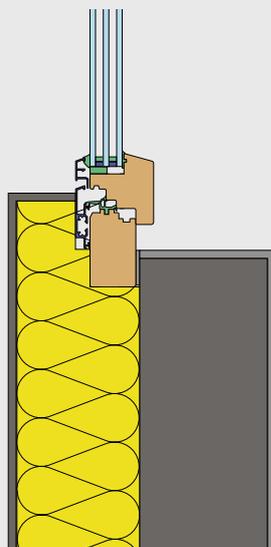
nêtre peuvent permettre d'atteindre cet objectif. Il faut alors déterminer précisément où doit s'étendre le plan d'isolation et surtout d'étanchéité, afin d'éviter la formation de condensat. Lorsque l'on rénove une fenêtre, le point faible thermique réside souvent dans le caisson de store. Les mesures d'amélioration sont difficiles à mettre en œuvre sur le plan technique et sont donc coûteuses. Lors de l'assainissement d'immeubles administratifs, une seconde façade vitrée en tant que partie d'une façade double peau est souvent envisageable. Pour assurer une utilisation confortable en été et un apport d'énergie en hiver, l'enveloppe extérieure doit présenter des ouvertures. Une telle façade flexible à double peau et à commande mécanique est très coûteuse et est peu utilisée dans le domaine de la rénovation.

MoPEC 2014 versus protection des monuments historiques

Avec l'intégration du MoPEC 2014 dans les prescriptions cantonales énergétiques des cantons et la publication de la norme SIA 380/1:2016, les exigences énergé-

Construction des cadres

Cadre en bois $U_f = 1,2-1,6 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
 Cadre en bois-métal $U_f = 1,3-1,6 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
 Cadre synthétique $U_f = 1,3-1,6 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
 Cadre métallique $U_f = 1,5-1,9 \text{ W/m}^2 \text{ K}$



Valeurs U des vitrages

Double vitrage IV, $U_g = 1,1-1,4 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
 (selon remplissage)
 Triple vitrage IV, $U_g = 0,4-0,7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
 (selon remplissage)
 Quadruple vitrage IV, $U_g < 0,40 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
 (selon remplissage)
 Double vitrage sous vide $U_g < 0,5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

Indications relatives à la construction

- L'intercalaire en aluminium ($\psi = 0,07 \text{ W/m K}$), en acier ($\psi = 0,05 \text{ W/m K}$) ou en matière synthétique ($\psi = 0,03 \text{ W/m K}$) doit être inclus dans le calcul.
- Outre la valeur U, la valeur g (coefficient de transmission lumineuse) joue également un rôle central pour les apports solaires passifs pendant la période de chauffage.
- Selon le vitrage, les valeurs et les proportions du cadre, la fenêtre peut présenter des valeurs U de 0,8 à 1,3 $\text{W/m}^2 \text{ K}$ (à calculer spécifiquement).
- Les ponts thermiques, causés par les huisseries, doivent être spécialement calculés et pris en compte

Illustration 6.15:
Fenêtres, vitrages.

Restauration de fenêtres

«Les fenêtres sont les yeux d'une maison», commente le Patrimoine suisse de Bâle au sujet de sa proposition de rénover soigneusement les vieilles fenêtres au lieu de les remplacer complètement. En effet, les cadres robustes des nouvelles fenêtres des façades finement structurées des bâtiments plus anciens ressemblent souvent à un coup de poing dans la figure. Ce type d'erreur de conception est particulièrement évident dans les bâtiments Art Nouveau et/ou inchangés depuis leur construction. D'autre part, tant le manque de confort que les pertes d'énergie par ces fenêtres sont considérables. En règle générale, elles sont conçues comme des fenêtres à double vitrage avec une contre-fenêtre, également appelée fenêtre d'hiver, et une fenêtre intérieure d'été. La transmission de chaleur est quatre à cinq fois plus importante que dans le cas d'une fenêtre à triple vitrage pour les nouveaux bâtiments, ce qui est courant aujourd'hui. La solution évidente semble être de remplacer la fenêtre intérieure par un nouveau produit à double vitrage. Cette intervention peut être dissimulée par la contre-fenêtre. Comme ces fenêtres-rideaux, en complément de la fenêtre principale, n'offrent ni isolation thermique ni isolation phonique, elles risquent de rester ouvertes, voire disparaître à la cave.

La campagne de Patrimoine suisse vise à rénover les fenêtres existantes des maisons protégées ou des maisons adaptées pour des raisons architecturales. Deux mesures se présentent, à savoir l'installation d'un vitrage isolant et d'une isolation en feutre dans les anciens châssis de fenêtre. Comme l'attestent les calculs d'un physicien du bâtiment, les pertes de chaleur des fenêtres seraient réduites de moitié grâce à la rénovation. Pour une maison individuelle, cela permettrait d'économiser environ 350 litres de mazout par an, soit environ 10 % des pertes thermiques totales, les fenêtres en représentant environ un cinquième. L'installation de vitrages isolants n'est souvent pas possible en raison de leur poids.

Selon Paul Dilitz du Patrimoine suisse de Bâle, les châssis pourraient encore résister, mais pas les charnières. Ce problème ne se pose guère avec l'installation d'un vitrage simple. L'isolation de la surface extérieure du vitrage permet d'améliorer l'isolation thermique de 30 % par rapport à un vitrage non isolé. L'effet s'accroît encore avec un deuxième vitrage équivalent dans la contre-fenêtre. Une telle duplication de la mesure est, pour ainsi dire, interdite lors de l'installation d'étanchéités. En effet, l'isolation de la contre-fenêtre extérieure forcera un espace d'air fermé entre les fenêtres, qui se refroidira et évacuera ainsi la condensation. Il en résulterait des fenêtres embuées pendant la période de chauffage. Selon les calculs de physique du bâtiment, l'isolation en caoutchouc de la fenêtre d'été intérieure réduit le renouvellement d'air d'environ 80 %. Les physiciens du bâtiment justifient cette mesure par le fait que des isolations en feutre installées par des professionnels permettent de satisfaire aux exigences posées aux nouvelles fenêtres.

La grande quantité d'air s'échappant par les fenêtres non rénovées est également liée aux grandes longueurs d'isolation causées par la petite taille des battants et des lucarnes. Une fenêtre de 2 m² nécessite généralement une isolation en caoutchouc de 12 m. C'est l'une des raisons pour lesquelles la rénovation des fenêtres historiques n'est en aucun cas une solution bon marché. Dans la plupart des cas, le remplacement complet d'une ancienne fenêtre par une nouvelle fenêtre standard devrait même être moins coûteux. Les nouvelles fenêtres à isolation thermique offrent également un plus grand confort et une moindre consommation d'énergie. Cependant, ces arguments ne sont pas toujours prioritaires. En particulier dans le cas des monuments et des édifices de valeur architecturale ou historique, une gestion soignée du bâti est d'une grande importance culturelle.

tiques pour les fenêtres ont également été renforcées. Pour les fenêtres, la valeur limite des composants individuels est de $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$, qu'il s'agisse d'une construction nouvelle ou d'un projet d'assainissement. En principe, seul un triple vitrage isolant peut donc être utilisé. D'autre part, il y a les aspects relatifs à la préservation des monuments historiques. Lorsque l'utilisation du triple vitrage n'est pas possible

ou justifiable du point de vue de la conservation des monuments, des mesures de compensation doivent être discutées avec l'implication de l'autorité responsable de l'énergie.

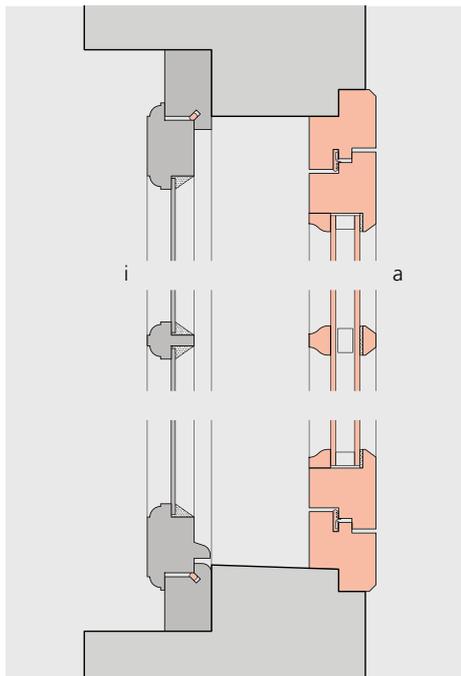


Illustration 6.16:
Contre-fenêtre à
verre isolant IV
installée à demeure.

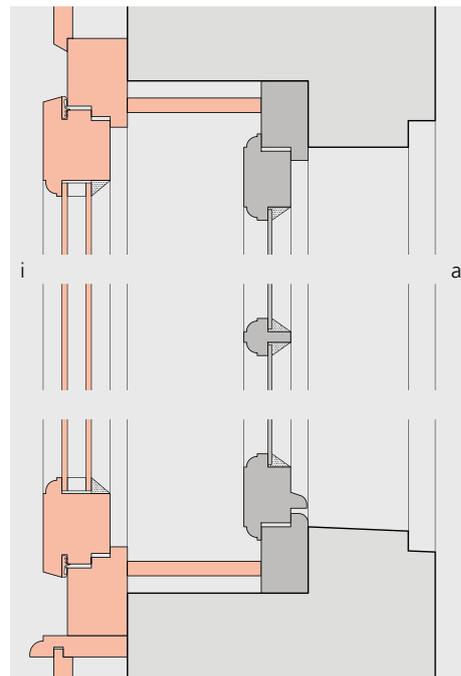


Illustration 6.17:
Ajout d'une fenêtre
à double vitrage à
la fenêtre existante.

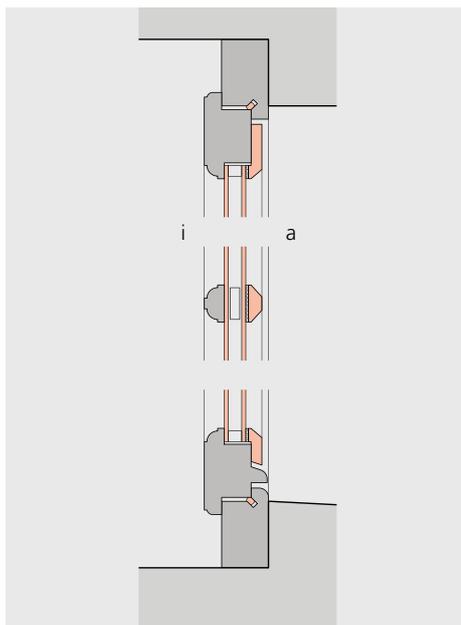


Illustration 6.18:
Remplacement des
vitrages par du
vitrage IV.

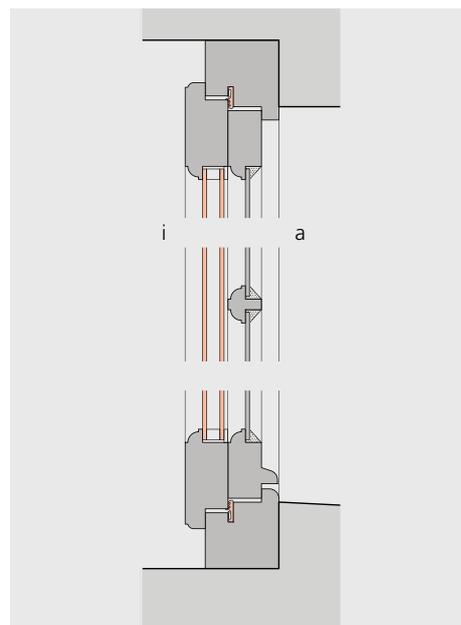


Illustration 6.19:
Ajout d'un vitrage
IV à un double
vitrage.

Source: Mémento sur les fenêtres, Service des monuments historiques de la ville et du canton de Berne

6.6 Toiture en pente

Existant: dans les vieilles maisons citadines dotées d'une toiture avec mansardes, on trouve très souvent de petits logements mal isolés et de faible qualité aménagés sous les combles. Dans d'autres constructions, les espaces sous toiture sont conçus comme des pièces froides, car ils sont principalement utilisés en tant que pièces de stockage et de rangement. Ces toitures ne disposent très souvent d'aucune construction de sous-toiture. Parfois, ces espaces sous toiture sont aménagés et les toits sont conçus sous formes de toitures froides et sont isolés au minimum $U = 0,5$ à $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. Malgré cette isolation, il en résulte, tant en hiver qu'en été, un déficit de confort, de sorte que ces espaces ne peuvent pas être utilisés en permanence.

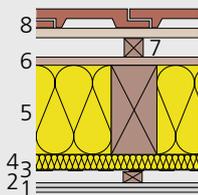
Mesures à prendre

La variante de rénovation la plus sûre et la plus simple est la reconstruction de la toiture. On peut alors choisir une construction de toiture froide ou chaude, avec une iso-

lation entre ou sur les chevrons. Cela devient plus difficile lorsque l'on ne peut travailler que de l'intérieur ou de l'extérieur.

Possible uniquement de l'extérieur: poser la couche d'étanchéité à l'air éventuellement nécessaire, intégrer l'isolation thermique de l'extérieur entre ou sur les chevrons et construire par-dessus la construction de sous-toiture (vérifier la physique du bâtiment en cas de toiture chaude); le contre-lattage, le lattage du toit et la couverture viennent clore l'ensemble. Avec une telle construction, on peut utiliser des isolants en fibre de bois.

Possible uniquement de l'intérieur: lorsqu'une sous-toiture est déjà présente, il suffit de contrôler la physique du bâtiment vis-à-vis de la diffusion de vapeur, c'est-à-dire l'étanchéité de la sous-toiture. Il s'agit d'une couche d'étanchéité à l'air efficace côté pièce (feuille). Sinon, la couche de chevrons peut être isolée avec une isolation supplémentaire éventuelle côté intérieur sur toute la surface (ponts thermiques) du toit.



Structure de la construction

- 1 Habillage intérieur
- 2 Espace d'installation
- 3 Pare-vapeur
- 4 Isolation complémentaire de 4 à 6 cm
- 5 Isolation complète entre chevrons
- 6 Sous-toiture existante (perméable à la diffusion)
- 7 Contre-lattage, ventilation de la sous-toiture
- 8 Lattage, couverture existante, évent. installation solaire

Valeurs U avec $\lambda = 0,034 \text{ W/mK}$

- d = 15 cm; $U = 0,20 - 0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$
- d = 20 cm; $U = 0,15 - 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$
- d = 25 cm; $U = 0,10 - 0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$
- 4 Isolation complémentaire de 4 à 6 cm

Indications relatives à la construction

- En présence d'une sous-toiture et d'une couverture de toit intacte, la construction peut s'effectuer par l'intérieur. Un contrôle de la diffusion de vapeur est requis.
- Si aucune sous-toiture n'est présente et que l'intervention ne peut s'effectuer que par l'intérieur, il existe des risques en termes de fonctionnalité de l'isolation thermique et de la sous-toiture construite de l'intérieur (cette procédure n'est pas recommandée).
- L'isolation complémentaire sur l'intérieur améliore la valeur d'isolation et réduit les ponts thermiques.
- Pour l'habillage intérieur, il convient de choisir des matériaux lourds (p. ex. plâtre), pour garantir la protection estivale.
- Lorsque la toiture est entièrement refaite à neuf, les constructions peuvent être réalisées selon le standard de la construction nouvelle.

Illustration 6.20:
Toit en pente.

Lorsque l'on doit modifier l'affectation d'une pièce dotée d'un toit de combles non isolé (sans sous-toiture) pour en faire une pièce de vie ou de travail, les efforts à fournir sont nettement plus importants. L'application d'une sous-toiture de l'intérieur entre les chevrons est très complexe et présente des risques résiduels associés, car les raccords et la déviation de l'eau de pluie ne peuvent généralement pas être effectués de manière absolument fiable. Il est recommandé d'intégrer au moins un pare-vapeur adaptatif à l'humidité ou une couche d'étanchéité à l'air, pour permettre, en cas d'infiltration d'eau, le séchage de l'isolation et de la structure en bois.

En principe, pour les aménagements sous toiture, il convient de choisir, pour la protection thermique estivale et hivernale, une isolation la plus lourde possible (p. ex. laine minérale, isolant en fibres de bois). En outre, il convient de prévoir des habillages intérieurs les plus massifs possibles, tels que des plaques de plâtre pour l'aménagement intérieur, afin de générer un déphasage et un amortissement des amplitudes de température dans le comportement des éléments. Lorsqu'une toiture est reconstruite, l'utilisation d'installations solaires intégrées est particulièrement pertinente, par exemple des capteurs solaires thermiques ou des éléments photovoltaïques.



Illustration 6.21: Assainissement complet et ajout d'un étage supplémentaire à un immeuble d'habitation à la Martastrasse à Zurich par le bureau d'architecture Vera Gloor AG, Zurich. (Photo: Guido Honegger)

6.7 Toiture plate

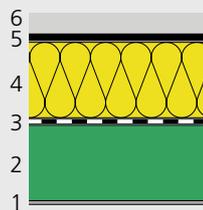
On distingue quatre types de constructions de toitures plates.

Toiture plate conventionnelle: les différentes couches sont déposées individuellement les unes sur les autres. La plupart des matériaux isolants et des bandes d'étanchéité à l'eau sont appropriés à ce type de toiture chaude.

Toiture composite ou toiture compacte: toutes les couches (couche de protection ou couche utile extérieure) sont reliées entre elles et avec la sous-couche, sur toute la surface. De telles toitures se composent quasi-exclusivement d'une isolation en verre cellulaire.

Toiture inversée: la couche d'étanchéité à l'eau se trouve en dessous de l'isolation thermique, protégée de la chaleur, du froid et des rayonnements UV. Seuls des matériaux insensibles à l'humidité peuvent être utilisés comme isolation thermique. Ce type de toiture doit obligatoirement présenter une pente d'au moins 1,5 % et pour la couche d'isolation thermique, il faut prévoir un supplément de 10 à 20 % (déperdition d'énergie par l'évacuation de l'eau de pluie).

Toiture froide ventilée: ce système de toiture se compose d'une coque intérieure fermant la pièce d'habitation et étanche à l'air, d'une coque extérieure avec système



Structure de la construction

- 1 Crépi intérieur
- 2 Béton armé, structure porteuse
- 3 Pare-vapeur
- 4 Couche d'isolation thermique variable
- 5 Dispositif d'étanchéité à l'eau
- 6 Protection et couches utiles variables

Illustration 6.22:
Toiture plate conventionnelle.

Valeurs U avec $\lambda = 0,034 \text{ W/m K}$

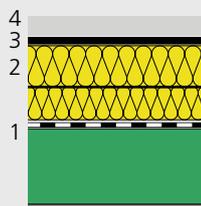
$d = 20 \text{ cm}$; $U = 0,15 - 0,18 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

$d = 25 \text{ cm}$; $U = 0,12 - 0,14 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

$d = 30 \text{ cm}$; $U = 0,10 - 0,12 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

Indications relatives à la construction

- La toiture chaude est le type de construction le plus répandu pour les constructions nouvelles comme pour les rénovations. D'autres structures de toiture plate courantes pour les assainissements et les constructions nouvelles comprennent la toiture compacte et la toiture inversée.
- Les conditions de base en termes de construction sont définies par la norme SIA 271.
- Pour la plupart des utilisations, une pente est requise et doit être garantie par l'ossature ou par la couche d'isolation thermique.



Structure de la construction

- 1 Toiture plate existante
- 2 Isolation thermique supplémentaire variable
- 3 Dispositif d'étanchéité à l'eau
- 4 Protection et couches utiles variables

Illustration 6.23:
Toiture double.

Valeurs U avec $\lambda = 0,036 \text{ W/m K}$

$d_{\text{tot}} = 20 \text{ cm}$; $U = 0,17 - 0,20 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

$d_{\text{tot}} = 25 \text{ cm}$; $U = 0,14 - 0,16 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

$d_{\text{tot}} = 30 \text{ cm}$; $U = 0,12 - 0,14 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

Indications relatives à la construction

- La toiture double est surtout appropriée à la rénovation et à l'étanchéification, avec amélioration de l'isolation thermique.
- L'ancien système d'étanchéité peut être retiré ou laissé en place (évaluation nécessaire sur le plan de la physique du bâtiment).
- Pour une toiture double, tous les matériaux utilisés pour les toitures plates sont en principe appropriés. Les compatibilités entre ancien et nouveau doivent être étudiées.

d'étanchéité et d'un espace intermédiaire ventilé. Dans le domaine des toitures plates, on peut ainsi en principe utiliser tous les matériaux d'isolation thermique traditionnels, c'est-à-dire des isolants en fibres minérales et du verre cellulaire.

Systèmes d'étanchéité

Vers 1960: Percée des constructions à toiture plate en Europe. Parallèlement à cela, développement des bandes d'étanchéité de toiture. Au début des années 1950, la bande de toiture en PIB (polyisobutylène) est apparue sur le marché, pour remplacer le bitume qui était traditionnellement utilisé en tant que moyen d'étanchéité entre les couches porteuses. Par la suite, l'offre en matériaux d'étanchéité s'est diversifiée (élastomère, matières synthétiques). À la fin des années 1970, on a utilisé pour la première fois des matières synthétiques liquides pour isoler les surfaces de toit. Celles-ci étaient principalement utilisées pour les toitures plates pour lesquelles les bandes étaient très difficiles à poser (nombreux passages, formes de toiture compliquées etc.).

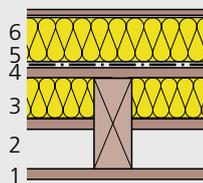
Mesures à prendre: Les toitures plates existantes relativement anciennes peuvent être classés en trois catégories d'état. Les mesures à prendre diffèrent selon les catégories.

Toiture plate ancienne: La toiture a plus de 25 ans, la couche d'étanchéité à l'eau est encore étanche, l'isolation thermique

ne répond plus aux exigences minimales en raison de son âge. Une toiture plate qui a été étanche et isolante sans dommage pendant 25 ans a atteint sa durée de vie technique. La toiture plate peut être déconstruite et reconstruite avec un nouveau système. Elle peut toutefois également être rénovée ou complétée sous la forme d'une toiture double. Dans ce cas, on pose sur la toiture existante une nouvelle isolation thermique avec une nouvelle couche d'étanchéité à l'eau. L'ancien système d'étanchéité peut alors être éliminé ou laissé en place (vérifier la diffusion de vapeur).

Couche d'étanchéité à l'eau non étanche: La couche d'étanchéité à l'eau fuit, l'isolant thermique est humide ou laisse passer l'eau, il perd son effet d'isolation thermique et des dommages apparaissent en raison de l'humidité et de l'eau. Dans ce cas, la situation est claire. Les défauts d'étanchéité doivent être identifiés, le matériau isolant mouillé remplacé et la couverture réparée. Selon l'étendue des dommages, il convient de remplacer des surfaces étendues ou même l'ensemble de la toiture plate.

Isolation thermique insuffisante: La toiture n'a pas encore atteint sa durée de vie technique de 25 à 30 ans mais une rénovation globale est prévue. Cette amélioration sur le plan thermique pourrait également être réalisée sous forme de toiture double avec isolation supplémentaire.



Structure de la construction

- 1 Plafond de plâtre existant
- 2 Plancher entre poutres existant
- 3 Étage de poutres avec isolation (nouveau)
- 4 Plancher existant sur poutres
- 5 Éventuellement système d'étanchéité à l'air, pare-vapeur
- 6 Protection thermique et phonique supplémentaire (nouveau)

Valeurs U avec $\lambda = 0,040 \text{ W/m K}$

$d_{\text{tot}} = 16 \text{ cm}$; $U = 0,25 - 0,30 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

$d_{\text{tot}} = 20 \text{ cm}$; $U = 0,20 - 0,25 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

$d_{\text{tot}} = 25 \text{ cm}$; $U = 0,15 - 0,20 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

Indications relatives à la construction

- L'isolation thermique entre les poutres peut être soufflée (flocons de cellulose) sans nécessiter le retrait du plancher.
- Une construction sur le plancher, avec isolation thermique et revêtement de sol, peut également contribuer à améliorer la protection thermique et phonique.

Illustration 6.24:
Plancher de galetas.

Ces constructions à plusieurs couches doivent être contrôlées en termes de physique de la construction, vis-à-vis de la diffusion de vapeur. En principe, la règle suivante s'applique: la résistivité thermique de l'ensemble de la construction doit augmenter en allant du côté froid au côté chaud, et la résistance à la diffusion de vapeur d'eau doit diminuer en allant du côté chaud au côté froid.

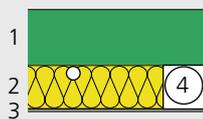
6.8 Plancher des combles

Dans de nombreuses maisons anciennes, les espaces sous toiture sont aménagés et la toiture doit ainsi être isolée. Toutefois, il existe également de nombreux bâtiments pour lesquels les espaces sous toiture servent encore d'espace de stockage et de galetas. Ces planchers de combles se composent souvent d'un plancher en bois sur les poutres et avec plaques de plâtre par-dessous. Les maisons plus récentes (à partir de 1970/80), disposent en général de plafonds en béton.

Mesures à prendre: En principe, on pourrait isoler la construction de toiture et l'on obtiendrait ainsi une pièce non chauffée à

l'intérieur du périmètre d'isolation. Cette mesure est sûrement plus complexe que l'isolation du plancher des combles, mais peut être combinée à une rénovation de la toiture nécessaire dans la même période. La solution la plus simple et, dans un cas normal, également la plus avantageuse, est l'isolation du plancher des combles. Sur le plafond en béton, on dépose un isolant thermique avec revêtement franchissable. Avec cette variante, on perd légèrement en hauteur dans la pièce et la construction ne pose aucun problème en termes de physique du bâtiment (isolation sur le côté froid, béton étanche). Dans le cas d'une construction à poutres en bois, on peut également poser un isolant sur la construction existante. Selon le revêtement de sol, il faut toutefois vérifier si une couche d'étanchéité à l'air ou un pare-vapeur doit tout d'abord être posé sur le sol existant. Une solution élégante consiste à souffler des flocons de cellulose dans les espaces entre les poutres. Cela ne représente aucune perte d'espace et ne pose aucun problème en termes de physique du bâtiment.

Une meilleure isolation du toit et des plafonds de cave convient généralement bien pour mettre en œuvre une stratégie de compensation. Cela signifie que pour les parois verticales, en particulier pour les façades, une isolation réduite suffit.



Structure de la construction

- 1 Construction de sol existante
- 2 Isolation thermique (nouveau)
- 3 Couche de couverture (nouveau)
- 4 Installations techniques domestiques (existantes)

Valeurs U avec $\lambda = 0,038 \text{ W/m K}$

d = 10 cm; U = 0,30 – 0,35 W/m² K

d = 15 cm; U = 0,20 – 0,25 W/m² K

d = 20 cm; U = 0,15 – 0,20 W/m² K

Indications relatives à la construction

- Les plaques doivent être fixées mécaniquement.
- Malgré les emplacements dédiés aux conduites existantes, la mesure est intéressante tant du point de vue énergétique qu'en termes de physique du bâtiment (température de plancher).
- Certaines conduites doivent être déplacées, d'autres découvertes.

Illustration 6.25:
Plafond de cave,
plafond sur
sous-sol.

6.9 Plafond des caves

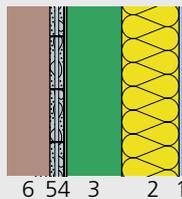
Les plafonds des caves se composent de plafonds à hourdis, de plafonds en béton ou de plafonds à poutres en bois.

Mesures à prendre: Dans toutes les constructions, une isolation par le dessous du plafond est efficace sur le plan énergétique et ne pose aucun problème en termes de physique de la construction. Cette mesure réduit non seulement les déperditions d'énergie, mais augmente également la température de surface du plancher, ce qui a un effet positif sur le confort. Cette mesure s'avère effectivement très économique, mais est parfois difficile à mettre en œuvre. Différentes conduites passent souvent en dessous de ces plafonds (tuyaux de chauffage, conduites d'eau, lignes électriques, réparateurs, lampes etc.), ce qui rend très diffi-

cile la pose de plaques. Là aussi, aucun composant technique nécessitant une maintenance ne doit être recouvert de façon permanente.

6.10 Murs, sols en contact avec la terre

Les caves utilisées à l'origine comme locaux techniques ou de rangement doivent être rééquipées d'une isolation thermique lorsqu'elles sont réutilisées en tant que bureaux, pièces d'habitation ou ateliers. Dans ce cas, on peut rencontrer dans l'existant deux situations différentes: soit le sous-sol est pourvu de drains et de couches anti-humidité au niveau du sol et du mur, soit la dalle du sol et la maçonnerie en pierres de taille sont directement en contact direct avec la terre humide.



Structure de la construction

- 1 mechanische Schutzschicht
- 2 Isolation intérieure (variabel) éventuellement pare-vapeur
- 3 Maçonnerie existante
- 4 Panneau d'étanchéité
- 5 Remblai drainant
- 6 Terrain

Valeurs U avec $\lambda = 0,038 \text{ W/mK}$

$d = 10 \text{ cm}$; $U = 0,30 - 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$

$d = 15 \text{ cm}$; $U = 0,20 - 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$

$d = 20 \text{ cm}$; $U = 0,15 - 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$

Indications relatives à la construction

- Lorsqu'il y a à l'extérieur un revêtement d'étanchéité avec remblai drainant et conduite de drainage, l'amélioration sur le plan thermique est possible avec une isolation intérieure.
- La diffusion de vapeur doit être vérifiée notamment là où le sous-sol sort du sol et est exposé aux intempéries.
- Au niveau des raccords de plafond et de mur, on observe des ponts thermiques qui doivent être évalués.
- Dans la zone des fondations, il convient selon la situation de prévoir une barrière horizontale (mécanique ou chimique).
- Dans le cas des murs extérieurs ou des sols ne disposant d'aucune conduite de drainage et situés directement dans le sol humide, il n'est possible de définir aucune construction applicable de manière universelle. Cette situation complexe doit être évaluée au cas par cas. Les mesures appropriées doivent être mises en œuvre en conséquence, par exemple enduit d'assainissement, creusement avec remblai de drainage, isolation intérieure, construction de mur supplémentaire sur l'intérieur etc.

Illustration 6.26:
Mur contre sol.

Dans ce cas, l'humidité est transportée par capillarité à l'intérieur à travers la structure du sol, respectivement du mur. Les solutions pour les bâtiments implantés dans les nappes souterraines sont très complexes et ne seront pas traitées dans ce livre.

Mesures à prendre sur une maison avec drain et protection contre l'humidité au niveau des murs: Prévoir une structure de sol avec protection anti-humidité contre les remontées d'eau par capillarité; dans la zone des fondations, selon l'étendue des dommages et la situation, prévoir des barrières horizontales (chimiques, injections) ou éventuellement mécaniques (tôles). Il existe également des procédés électro-physiques correspondants pour combattre l'humidité des murs. En cas de constructions de sol ou de mur au sec, l'isolation nécessaire peut être posée.

Sol et mur dans la terre humide: Dans une telle situation, la décision doit être prise au cas par cas. La meilleure solution consisterait à déblayer après-coup la maison et à enfouir les drains nécessaires tout en appliquant les couches anti-humidité requises. Plusieurs variantes sont alors possibles:

- Aucune mesure, conservation de l'état réel
- Application d'un enduit de rénovation
- Déblayage autour de la maison et mesures de protection correspondantes
- Construction d'un nouveau mur à l'extérieur de la construction existante avec isolation thermique et protection contre l'humidité.

Toutes ces solutions sont non seulement coûteuses, mais entraînent également parfois des risques en termes de physique du bâtiment.

Protection phonique

Niklaus Hodel,
Patrick Hertig

7.1 Situation de départ

Une grande partie de la population suisse est actuellement exposée à des immissions sonores excessives provenant de la rue, de la voie ferrée, de l'industrie etc. Selon les analyses de l'Office fédéral de l'environnement (OFEN, Pollution sonore en Suisse), plus d'un million d'habitants sont aujourd'hui exposés à des niveaux sonores trop élevés. En outre, une étude représentative de l'Office fédéral du logement, menée auprès de maîtres d'ouvrage professionnels et privés, a montré qu'une bonne protection phonique entre les logements constitue l'un des critères les plus importants dans la construction d'un bâtiment. Par conséquent, le thème de l'acoustique de la construction et de la protection contre le bruit extérieur et intérieur doit également être pris en compte dans l'assainissement, la rénovation et la reconstruction. Les conditions juridiques sont pour l'essentiel définies par l'Ordonnance fédérale sur la protection contre le bruit (OPB) et par la norme SIA 181 «Protection contre le bruit dans le bâtiment».

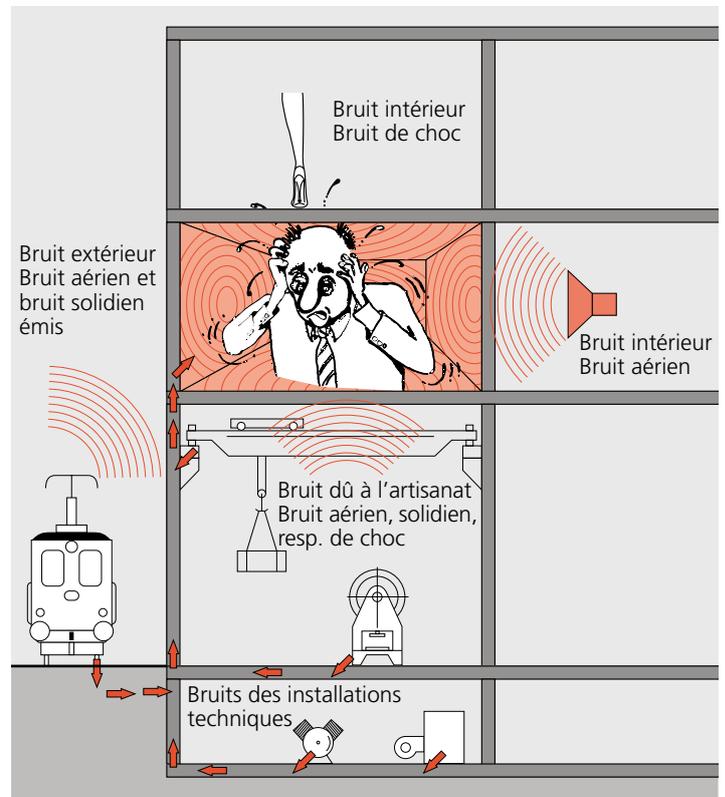
7.2 Situation juridique et prescriptions

Tableau 7.1: Problèmes de bruit et exigences de protection contre le bruit.

La première directive suisse sur la protection contre le bruit dans la construction est apparue en 1970, sous la forme de la recommandation SIA 181. Dès 1976, la

norme SIA 181 «Protection contre le bruit dans le bâtiment» remplace la précédente recommandation. En 1988, en plus de l'Ordonnance fédérale sur la protection contre le bruit, la nouvelle norme SIA 181 «Protection contre le bruit dans le bâtiment» est entrée en vigueur. Cette norme a un caractère juridique, car elle fait partie de l'OPB, qui se base à son tour sur la Loi sur la protection de l'environnement (LPE).

Illustration 7.1: Bruit ou charges sonores importantes influençant le confort des pièces. (Source: vdf Verlag)



Sources sonores				
<ul style="list-style-type: none"> Bruit extérieur (p. ex. trafic) Bruit aérien 	<ul style="list-style-type: none"> Bruit d'habitation du voisinage Bruit aérien 	<ul style="list-style-type: none"> Bruit d'habitation du voisinage Bruit de choc 	<ul style="list-style-type: none"> Bruit du bâtiment Bruit solidien et bruit aérien 	<ul style="list-style-type: none"> Bruits propres (internes à la pièce) Bruit aérien
Composants et installations				
<ul style="list-style-type: none"> Fenêtres Murs extérieurs Toit Portes d'entrée Caissons de stores 	<ul style="list-style-type: none"> Murs de séparation des logements Plafonds des logements Portes des logements 	<ul style="list-style-type: none"> Dalles de séparation des logements Balcons Toitures accessibles 	<ul style="list-style-type: none"> Installations sanitaires et de chauffage Conduites Appareils, machines 	<ul style="list-style-type: none"> Cages d'escalier Halls, couloirs Salles de bain Locaux spéciaux
Mesures de protection phonique				
Isolation phonique des bruits aériens	Isolation phonique des bruits aériens	Isolation des bruits de chocs	Isolation des bruits aériens et des bruits solidiens	Réduction de la réverbération

L'OPB règlemente notamment:

- la séparation et le raccordement des zones bâties dans les régions soumises à une pollution importante au bruit,
- l'octroi de permis de construire pour les bâtiments ayant des pièces sensibles au bruit dans des régions soumises à une pollution sonore importante
- la protection contre le bruit extérieur et intérieur pour les bâtiments neufs et existants dotés de pièces sensibles au bruit
- la détermination des immissions de bruit extérieur et leur évaluation à l'aide de valeurs limites de pollution au bruit.

La norme SIA 181 actuellement en vigueur, édition 2006, a été élargie et adaptée aux normes EN et ISO actuelles. Elle régleme-
mente:

- la protection des bâtiments contre les sources de bruit externes et internes, rapportée aux unités d'utilisation dans les constructions nouvelles et transformées
- les propriétés acoustiques des constructions, éléments de construction et installations techniques du bâtiment
- la protection contre le bruit à l'intérieur des unités d'utilisation sous forme de recommandations
- l'acoustique des salles de cours et des salles de gymnastique.

La norme SIA 181, édition 2006, est actuellement en révision, resp. en consultation.

7.3 Bruit de l'extérieur

Les deux articles importants issus de l'OPB sont:

Art. 31. Permis de construire dans des secteurs exposés au bruit: Les valeurs limites d'immissions prédéterminées doivent être respectées au milieu de la fenêtre ouverte (état d'aération). Selon l'arrêt du Tribunal fédéral du 16 mars 2016, les exigences s'appliquent à toutes les fenêtres des pièces sensibles au bruit, contrairement à la «pratique des fenêtres de ventilation» appliquée jusqu'à présent. Une installation d'aération douce ne fait généralement pas office de mesure de protection contre le bruit conformément à l'art. 31 de l'OPB.

Art. 32. Exigences posées à la protection contre le bruit extérieur: L'enveloppe fermée doit respecter les exigences minimales de la norme SIA 181. Les exigences s'appliquent également aux éléments extérieurs et de séparation qui sont transformés, remplacés ou montés à neuf. Elles dépendent du niveau sonore extérieur et de la sensibilité au bruit. L'élément le plus faible de l'enveloppe du bâtiment fait référence. Il s'agit généralement de la fenêtre ou de la construction de toiture en

Valeurs limites d'exposition selon l'Ordonnance sur la protection contre le bruit

	Valeurs de planification		Valeurs limites d'immission		Valeurs d'alarme	
	Jour	Nuit	Jour	Nuit	Jour	Nuit
Seuil de sensibilité						
SS I (zones de repos)	50 dB	40 dB	55 dB	45 dB	65 dB	60 dB
SS II (zones d'habitation)	55 dB	45 dB	60 dB	50 dB	70 dB	65 dB
ES III (zones mixtes)	60 dB	50 dB	65 dB	55 dB	70 dB	65 dB
ES IV (zones industrielles)	65 dB	55 dB	70 dB	60 dB	75 dB	70 dB

Tableau 7.2:
Valeurs limites d'exposition à OPB.

	Degré de nuisance du bruit extérieur			
	Faible à modérée		Élevée à très élevée	
Pollution sonore	Faible à modérée		Élevée à très élevée	
Situation du lieu de réception	À l'écart du trafic de transit, pas d'exploitations gênantes		À proximité d'axes routiers ou d'exploitations gênantes	
Niveau d'évaluation	Jour	Nuit	Jour	Nuit
Niveau d'évaluation	$L_r \leq 60$ dB	$L_r \leq 52$ dB	$L_r > 60$ dB	$L_r > 52$ dB
Sensibilité au bruit	Valeurs d'exigence D_e en dB (différence de niveau sonore standard)			
Faible	29 dB/22 dB		$L_r - 35$ dB/ -38 dB	$L_r - 27$ dB/ -30 dB
Modérée	34 dB/27 dB		$L_r - 30$ dB/ -33 dB	$L_r - 22$ dB/ -25 dB
Élevée	39 dB/32 dB		$L_r - 25$ dB/ -28 dB	$L_r - 17$ dB/ -20 dB

Tableau 7.3:
Exigence minimales et accrues en matière de protection contre le bruit extérieur (SIA 181).

penne. En cas de pollution importante au bruit, on utilise des fenêtres de protection phonique avec des vitres ayant un indice d'affaiblissement acoustique apparent R_w supérieur à 35 dB. Les triples vitrages isolants traditionnels n'offrent souvent pas une protection suffisante dans les zones bruyantes, malgré leurs trois vitres.

7.4 Bruit aérien

Transmission du bruit aérien: Transmission du bruit aérien d'une pièce à une autre par les éléments de séparation (mur, plafond, portes etc.), par des ouvertures, des fentes ou par des voies détournées. Les valeurs d'exigence D_i dépendent de la pollution sonore et de la sensibilité au bruit. Ces valeurs (exigences minimales) s'appliquent surtout aux constructions nouvelles, mais sont également valables pour les changements d'affectation, les extensions et les transformations impliquant des interventions importantes. Pour les exi-

gences accrues, on appliquera ces valeurs augmentées de 3 dB, par rapport aux indications du Tableau 7.4.*

Dans les maisons existantes, ce sont notamment les murs en briques ou en béton de faible épaisseur, à une seule peau, qui sont problématiques; des façades-rideaux adéquates peuvent représenter une solution.

Néanmoins, les plafonds à poutres en bois avec plancher et plafond de plâtre présentent sur ce point un potentiel problématique encore plus important. Le remblai ou le remplissage des espaces creux avec de la laine minérale ou des flocons de cellulose n'apporte pas l'effet requis, en raison de la masse manquante. Un plafond de plâtre supplémentaire accroché en suspension oscillante, une chape flottante ou même les deux mesures combinées, sont nécessaires pour offrir une protection phonique efficace (Illustr. 7.2). Toutefois, il est fréquent que l'on ne dispose pas pour cela

* La norme SIA 181 révisée, contenue dans la consultation, prévoit 4 db.

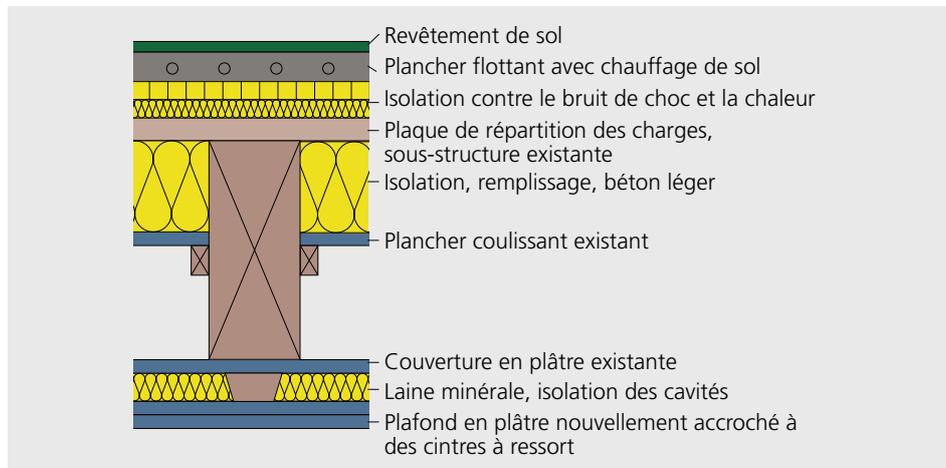


Illustration 7.2:
Construction possible de plafonds à poutres en bois.

Pollution sonore	Faible	Modérée	Forte	Très forte
Exemples de types de locaux et d'utilisation émetteurs (local d'émission)	Utilisation silencieuse: Salle de lecture, salle d'attente, chambre de patient, chambre sanitaire, archives	Utilisation normale: Séjour, chambre à coucher, cuisine, salle de bain, WC, corridor, cage d'ascenseur, cage d'escalier, bureau, salle de conférences, laboratoire, local de vente sans sonorisation	Utilisation bruyante: Salle de bricolage, salle de réunions, salle de classe, chaufferie, garage, restaurant, sans sonorisation, local de vente avec sonorisation	Utilisation très bruyante: Exploitation artisanale, atelier, salle de musique, salle de gymnastique, restaurant avec sonorisation et locaux d'accès
Sensibilité au bruit	Protection contre le bruit intérieur: Valeurs d'exigence D_i			
Faible	45 dB/42 dB	50 dB/47 dB	55 dB/52 dB	60 dB/57 dB
Modérée	50 dB/47 dB	55 dB/52 dB	60 dB/57 dB	65 dB/62 dB
Élevée	55 dB/52 dB	60 dB/57 dB	65 dB/62 dB	70 dB/67 dB

Tableau 7.4:
Exigences minimales (en gras) et accrues en matière de protection contre le bruit intérieur (SIA 181:2006).

d'une hauteur sous plafond suffisante, ou que des aspects architecturaux ou de conservation des bâtiments s'opposent à de tels aménagements. En outre, les coûts sont également très élevés.

7.5 Bruit de choc

Transmission du bruit de choc: Transmission du bruit de choc d'une construction accessible, sous forme de bruit solide, vers d'autres pièces, et avec diffusion et perception en tant que bruit aérien dans la pièce exposée. Les valeurs d'exigence L' dépendent de la pollution sonore et de la sensibilité au bruit. Ces valeurs (exigences minimales) s'appliquent surtout aux constructions nouvelles; pour les transformations, des limites (réduites) augmentées de 2 dB s'appliquent. Pour les exigences accrues, on applique des valeurs (plus sévères) réduites de 3 dB, par rapport aux indications du Tableau 7.5*.

Dans les bâtiments existants, les plafonds en béton sans chape flottante ou même les plafonds à poutres en bois sont les éléments qui posent le plus de problèmes, tout comme pour le bruit aérien. Dans les maisons dotées de plafonds en béton des années 60 et 70, un revêtement en moquette sur toute la surface étant souvent

un élément à part entière de la composition du sol. Lors du remplacement du revêtement de sol, par exemple par un revêtement en parquet, on peut observer des transmissions de bruit de choc non souhaitées et plus importantes. Avec les plafonds à poutres en bois, des chapes flottantes améliorent la situation. En outre, dans le cadre d'une rénovation globale, il est intéressant d'envisager l'intégration d'un chauffage de sol. Cela est recommandé lorsque l'on remplace un système de chauffage à énergie fossile par un chauffage à basse température (pompe à chaleur). Les mesures mises en œuvre par le dessous, telles que par exemple un plafond de plâtre suspendu à des étriers de ressort, peuvent apporter une amélioration sensible, mais moins efficace que les chapes.

* La norme SIA 181 révisée, contenue dans la consultation, prévoit 4 db.

Type de bruit côté émission dans la salle d'émission	Bruits isolés		Bruits permanents
	Bruits des installations techniques	Bruits des unités d'utilisation	Bruits des installations techniques ou des unités d'utilisation
Sensibilité au bruit	Valeurs d'exigence L_H		
Faible	38 dB(A)	43 dB(A)	33 dB(A)
Modérée	33 dB(A)	38 dB(A)	28 dB(A)
Élevée	28 dB(A)	33 dB(A)	25 dB(A)

Tableau 7.6: Exigences minimales pour la protection contre les bruits des installations techniques (SIA 181).

Pollution sonore	Faible	Modérée	Forte	Très forte
Exemples de pièces et d'utilisation émettrices (local d'émission)	Salle d'archivage, salle d'attente, salle de lecture	Salon, chambre à coucher, cuisine, salle de bain, WC, bureau, chaufferie et local de climatisation, corridor, escalier, balcon commun, passage, terrasse, garage souterrain	Restaurant, salle à manger, salle de classe, jardin d'enfants, salle de gymnastique, atelier, salle de musique et salle de réunion associées	Les zones définies au niveau «forte pollution», lorsqu'elles sont également utilisées la nuit entre 19h00 et 7h00
Sensibilité au bruit	Protection contre le bruit de choc: valeurs d'exigence L'			
Faible	60 dB/63 dB	55 dB/58 dB	50 dB/53 dB	45 dB/48 dB
Modérée	55 dB/58 dB	50 dB/53 dB	45 dB/48 dB	40 dB/43 dB
Élevée	50 dB/53 dB	45 dB/48 dB	40 dB/43 dB	35 dB/38 dB

Tableau 7.5: Exigence minimum (en gras) et accrue en matière de protection contre le bruit de chocs (SIA 181:2006).

7.6 Installations techniques

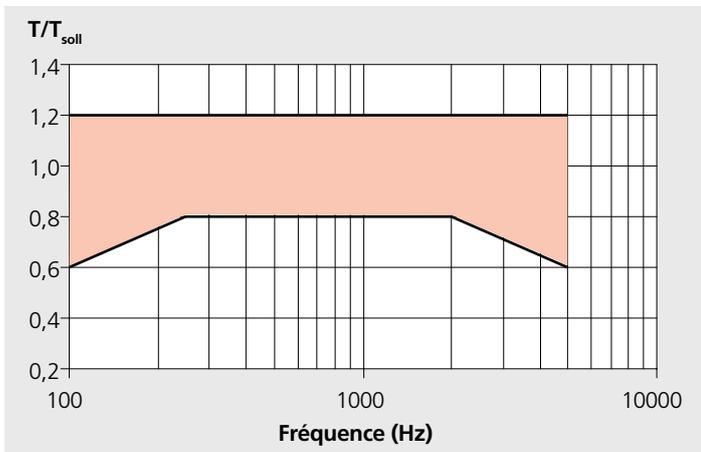
Transmission du bruit solidien: Bruits qui apparaissent à l'intérieur ou à l'extérieur d'un bâtiment par des processus de vibration, sont transmis exclusivement sous forme de bruits solidiens et sont perçus à l'intérieur en tant que bruits aériens. Les valeurs d'exigence sont différenciées selon les bruits isolés et les bruits durables. Pour les exigences accrues, on applique des valeurs réduites de 3 dB*.

Les principales sources de bruit se situent dans la cuisine, dans la salle de bain et dans la cave (installations techniques telles que

ventilation, brûleur à mazout, pompes à chaleur etc.). Souvent, les ascenseurs sont également à incriminer. Les mesures les plus efficaces sont les suivantes:

- amortir, découpler et fixer de façon élastique,
- pourvoir les machines et installations techniques d'amortisseurs de vibrations,
- fixer les conduites de façon élastique,
- monter les installations sanitaires avec des supports de protection phonique adéquats,
- disposer les baignoires, cabines de douche sur des chapes flottantes,
- séparer élastiquement les revêtements de cuisine du mur etc.

Illustration 7.3:
Temps de réverbération à viser pour les salles de classe (SIA 181)



Utilisation	Pièce 1 *	Pièce 2 **	Recommandation bruit aérien		Recommandation bruit de choc	
			Niveau 1	Niveau 2	Niveau 1	Niveau 2
Habitation	Sommeil	Sommeil	40	45	55	50
	Sommeil	Habitation	40	45	55	50
	Sommeil	Salle de bain	40	45	55	50
Bureau	Bureau	Bureau	35	40	60	55
	Bureau	Séance	40	45	60	55
	Bureau	Direction	45	50	60	55
	Couloir	Bureau	30	35	60	55
	Couloir	Direction	35	40	60	55
	Séance	Séance	40	45	60	55
École	Classe	Classe	45	50	60	55
	Couloir	Classe	35	40	60	55
	Salle de musique	Classe	55	60	50	45
	Salle de musique	Salle de musique	55	60	50	45
	Travaux manuels	Classe	50	55	50	45
Hôtel	Chambre	Chambre	50	55	55	50
	Couloir	Chambre	40	45	55	50
EMS, hôpital	Chambre	Chambre	50	55	55	50
	Couloir	Chambre	30	35	55	50

* Recommandations pour des pièces sans influence des portes et escaliers ouverts (mesure avec façades-rideaux)

** Pièces entre lesquelles aucune parole ne doit être intelligible (p. ex. cabinet médical, bureau d'aide sociale).

Tableau 7.7:
Recommandations en matière d'éléments de séparation au sein d'une même unité d'utilisation: isolation contre le bruit aérien D_i ou niveau normalisé de bruit de chocs évalué L' en dB (SIA 181, annexe G).

7.7 Acoustique ambiante

Acoustique ambiante: Domaine partiel de l'acoustique qui traite de l'audibilité de la voix ou de la musique dans des salles et du design acoustique des salles. Le spectre déterminant s'étend de 100 à 5000 Hz. Le fonctionnement normal de salles de cours et de gymnastique présuppose un minimum d'intelligibilité de la parole ou d'audibilité. Pour effectuer un conditionnement adéquat en termes d'acoustique ambiante, les durées de réverbération dans ces salles doivent remplir certaines conditions.

Ces prescriptions conformes à SIA 181 sont applicables de la même manière aux constructions nouvelles, aux transformations et aux rénovations. En d'autres termes, les salles de cours doivent être équipées de matériaux absorbants (amortisseurs de bruit) sur les surfaces qui s'y prêtent.

Durée de réverbération pour les salles de cours: $T_{\text{soil}} = -0,17 + 0,32 \lg(V/V_0)$

7.8 Protection phonique à l'intérieur des unités d'utilisation

La norme SIA 181 règlemente exclusivement la protection phonique entre différentes unités d'utilisation. Cependant, des recommandations en matière de protection phonique entre les pièces au sein d'une même unité d'utilisation ont également été définies (SIA 181:2006, Annexe G) et peuvent servir d'aide pour les planificateurs et de base possible pour des accords contractuels correspondants.

Structure porteuse

Hansruedi Meyer Lors de la rénovation d'un bâtiment et de la poursuite de la construction sur des structures existantes, des questions très différentes sur la structure de soutien peuvent se poser, selon qu'il s'agit d'extensions, de prolongements, de sous-sols ou seulement d'interventions dans la structure porteuse existante. Les paragraphes suivants présentent quelques réflexions importantes sur ces sujets.

8.1 Agrandissement

Les structures porteuses des agrandissements ne sont pas fondamentalement différentes des structures porteuses d'une construction nouvelle. Leurs particularités résident dans leur construction et son déroulement.

Joint de séparation entre le bâtiment existant et l'agrandissement: D'après les règles de la construction, un agrandissement doit être séparé du bâtiment existant. Les joints de séparation peuvent certes apporter des solutions, mais également créer de nouveaux problèmes. C'est pourquoi il est particulièrement important de bien étudier la question des affaissements, afin d'éviter les différences de niveau entre l'ancien et le nouveau. Les joints de séparation entre bâtiments commencent en général au-dessus des fondations et se poursuivent de manière cohé-

rente, jusqu'aux raccords de façade et de toiture. L'étanchéité des jointures est primordiale. Il peut être approprié de renforcer les joints par rapport au bâtiment existant, afin d'empêcher les différences de niveaux dues à l'affaissement. Cela s'avère même nécessaire si aucun élément porteur vertical n'est souhaité au niveau de la transition avec l'agrandissement et si les plafonds sont posés directement contre le bâtiment existant.

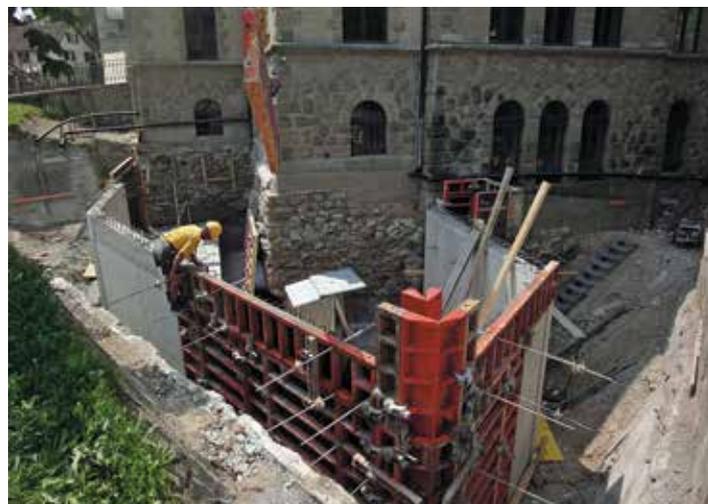
Agrandissements de sous-sols sur des bâtiments sans sous-sol: Lorsqu'un sous-sol est rattaché directement à un bâtiment existant ne disposant d'aucun sous-sol, il convient de sonder les fondations du bâtiment existant si celles-ci ne sont pas visibles sur les plans. Les fondations dépassent souvent au-delà du mur extérieur du bâtiment. Il faut donc déterminer dans quelle mesure les fondations existantes peuvent être adaptées et si l'éventuelle saillie des fondations peut être supprimée. Dans tous les cas, les fondations du bâtiment existant doivent être amenées au niveau des fondations de l'agrandissement, par exemple par des fondements en sous-œuvre.

Agrandissements sans sous-sol: Pour les agrandissements sans sous-sol, les fondations doivent être amenées jusqu'à la hauteur du terrain ou, si possible, être ancrées au bâtiment existant à l'aide de consoles.

Illustration 8.1:
Arsenal cantonal de Zoug, fouille de fondation pour les annexes. En raison du mur extérieur saillant, les annexes ne peuvent pas être directement rattachées au bâtiment existant.



Illustration 8.2:
Arsenal cantonal de Zoug, travaux de coffrage en béton pour les annexes.



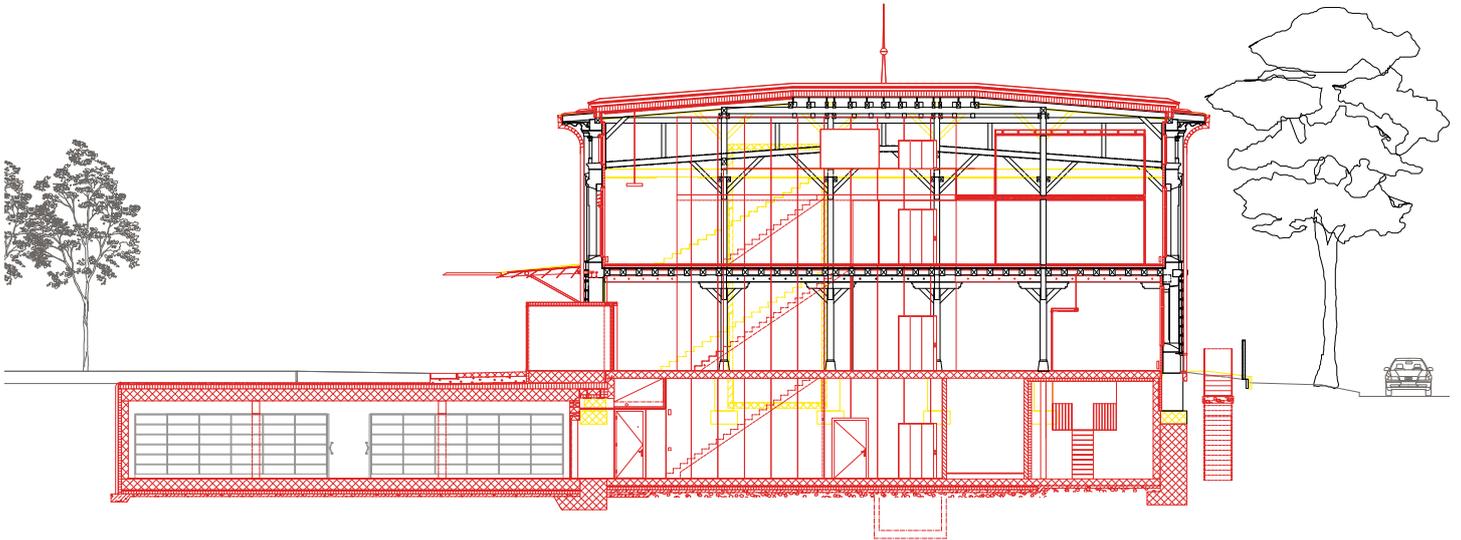


Illustration 8.3

(en haut): Bibliothèque sur la Guisanplatz, Berne. Coupe transversale avec nouveau sous-sol pour les équipements techniques et nouvel agrandissement pour la salle d'archives.



Illustration 8.4

(au centre): Bibliothèque sur la Guisanplatz, Berne. Reprise en sous œuvre de la façade existante pour une nouvelle salle d'archives souterraine.

Illustration 8.5

(en bas à gauche): Château Hofwil à Münchenbuchsee, construit en 1784. reprise en sous œuvre de la façade.



Illustration 8.6

(en bas à droite): Château Hofwil à Münchenbuchsee. Ajout d'un parking souterrain.



8.2 Surélévation

Lors de la surélévation d'un bâtiment, des charges supplémentaires doivent être transférées dans le sol via la structure porteuse du bâtiment existant. Il convient donc de déterminer si les éléments porteurs verticaux présents, les murs et les appuis ainsi que les fondations, sont en mesure de supporter ces charges supplémentaires et si celles-ci peuvent être transférées de façon sûre dans le sol. Si ce n'est pas le cas, il convient de vérifier si les éléments porteurs doivent être renforcés et si les fondations doivent être adaptées en conséquence. Les surélévations sans renforcement de la structure porteuse existante sont possibles uniquement en présence de charges supplémentaires relativement faibles; en d'autres termes, une surélévation doit de préférence être planifiée dans une construction légère, de bois ou d'acier. Pour la surélévation, il faut, si possible, reprendre la structure porteuse verticale existante. La dalle de toiture n'est généralement pas apte à supporter des

charges d'appui ou de mur en flexion. Si la structure porteuse ne peut pas être reprise, les charges de la surélévation peuvent être transférées sur les éléments porteurs verticaux existants à l'aide d'une construction auxiliaire, par exemple à l'aide de couches porteuses sur la dalle de toiture. L'espace intermédiaire ainsi créé peut alors également être utilisé pour le passage des conduites des installations techniques. Les murs et appuis peuvent être renforcés de façon relativement simple, ce qui n'est pas le cas des fondations. Un agrandissement des fondations isolées et des semelles est difficile en raison de la mauvaise accessibilité, et s'avère généralement très coûteux. Souvent, on utilise ainsi des micropieux pour guider les charges dans le sol. Ces petits pieux forés peuvent même être disposés à l'intérieur d'un bâtiment existant. Étant donné que, dans le cas d'une surélévation, la dalle de toiture doit être retirée au moins au niveau des points de support de la charge, une toiture de fortune sera généralement nécessaire.

Illustration 8.7 (en haut): Maison de retraite de Lyss-Busswil. Façade avec nouvel étage dans les combles.

Illustration 8.8 (à gauche): Maison de retraite de Lyss-Busswil. Chapes longitudinales en béton sur la dalle de toiture pour transférer les nouvelles charges sur les appuis sous-jacents.

Illustration 8.9 (à droite): Maison de retraite de Lyss-Busswil. Espace intermédiaire pour les conduites entre l'ancienne dalle de toiture et le nouveau sol de l'étage.

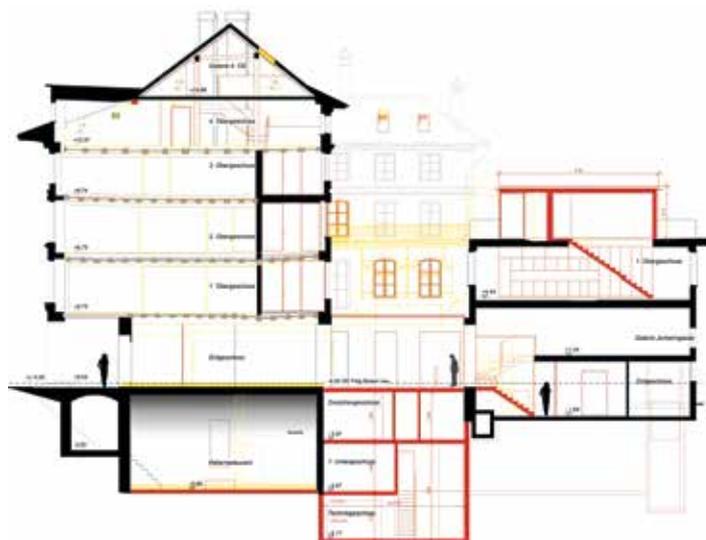


8.3 Création d'un sous-sol

La création après-coup du sous-sol d'un bâtiment est toujours complexe. En l'absence d'une grande ouverture dans le bâtiment, le déblaiement et les travaux de gros œuvre doivent être réalisés avec de petits appareils ou à la main. Les éléments porteurs verticaux doivent être amenés jusqu'au nouveau niveau des fondations. Deux méthodes sont alors principalement utilisées: l'allongement des éléments porteurs par reprise en sous-œuvre progressive, ou la reprise des éléments porteurs à l'aide de micropieux. Dans le cas d'une reprise en sous-œuvre, la grandeur des étapes doit être adaptée au système porteur existant et à la stabilité du sol lors du déblaiement. Les micropieux sont décalés par rapport au niveau existant et le sol est ensuite déblayé autour des micropieux. Le risque d'affaissement et donc de formation de fissures dans la construction est nettement plus important avec les reprises en sous-œuvre qu'avec l'utilisation de micropieux.

Lors de la création d'un sous-sol, la dalle de sol existante doit être déconstruite et reconstruite en tant que plafond. Si la structure porteuse existante est sécurisée sur des micropieux, les appuis et murs ne doivent pas obligatoirement être repris par le haut. Ils peuvent également être rectifiés par la suite sur le nouveau plafond. Le plafond est alors ce que l'on appelle un plafond étançonné.

Illustration 8.10: Goldener Adler Gerechtigkeitsgasse 7, Berne. Coupe transversale avec nouveau sous-sol.



Création de sous-sols pour des bâtiments classés: Si les possibilités techniques et le savoir-faire des spécialistes permettent de réaliser des sous-sols supplémentaires même sur des bâtiments classés, les offices de conservation des monuments historiques ont émis des réserves fondamentales et refusent toute création de sous-sol. Le document de base de la Commission fédérale des monuments historiques CFMH «Ouvrages souterrains en milieu historique», du 22 juin 2018, explique en détail les raisons de cette prise de position.

Illustration 8.11: Goldener Adler Gerechtigkeitsgasse 7, Berne. Reprise en sous-œuvre avec étapes de coffrage adaptées à la résistance du sol. Les armatures sont provisoires.

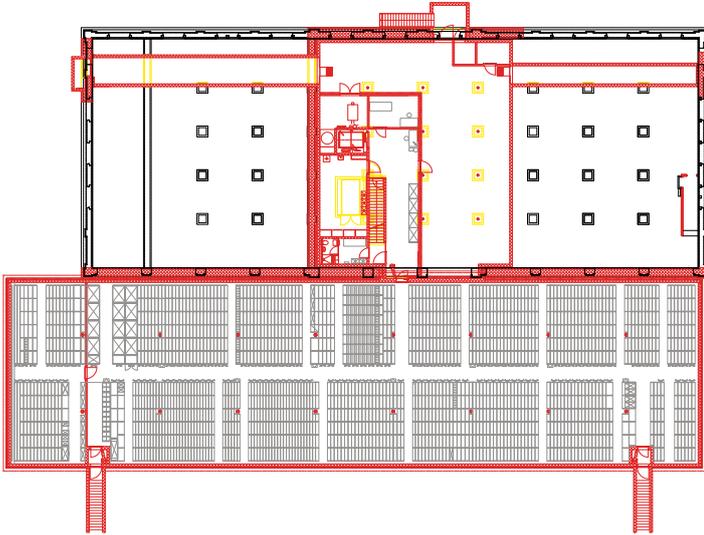


Illustration 8.12 (en haut):

Sous-sol avec micropieux. Bibliothèque sur la Guisanplatz, Berne. Plan du nouveau sous-sol avec local pour les équipements techniques, et avec nouvel agrandissement pour une salle d'archives (coupe transversale: voir l'illustr. 8.3).



Illustration 8.13 (au centre):

Bibliothèque sur la Guisanplatz, Berne. Structure porteuse de l'ancien bâtiment de stockage avant la transformation.

Illustration 8.14 (en bas à gauche):

Bibliothèque sur la Guisanplatz, Berne. Reprise des appuis au rez-de-chaussée avec chaque fois 4 micropieux. Les entretoisements servent à rigidifier les micropieux très fins.

Illustration 8.15 (en bas à droite):

Bibliothèque sur la Guisanplatz, Berne. Structure porteuse intérieure complète pendant l'élévation sur des micropieux.



8.4 Transformation

Dans le cas des transformations, les interventions dans la structure porteuse doivent rester modérées. Elles ne sont justifiées que lorsque la structure porteuse est adaptée aux besoins modifiés ou lorsque les fonctions doivent être améliorées. Les éléments déterminants du bâtiment doivent être respectés. Cela s'applique également aux mesures requises à la suite de la mise en place de nouvelles installations techniques. Les exigences doivent toujours être considérées dans le contexte, et être optimisées sur le plan économique.

Les percées de mur sont des interventions fréquentes; elles requièrent la plupart du temps un remplacement par des linteaux, selon le système porteur des plafonds. Les plafonds à poutres ou à poutrelles en acier nécessitent toujours un appui linéaire. Avec les plafonds en béton, dans le cas de percées de mur peu importantes, l'ouverture peut être pontée par une armature adhésive à la place d'un linteau. Si, à l'étage au-dessus du mur percé, se trouve un autre mur, il faut veiller aux conséquences des déformations. Un linteau ou un remplacement à l'aide d'une armature adhésive est toujours plus souple que l'ancien mur. Si l'on souhaite percer des éléments porteurs, les mesures nécessaires doivent être soigneusement planifiées pendant le déroulement de la construction, notamment les étayages.

Très souvent, on évalue également la sécurité structurale et l'aptitude à l'emploi des plafonds. Si l'on ne modifie rien de la construction de plafond et de la structure de sol et que l'utilisation reste identique, une vérification n'est en principe nécessaire que si des déformations importantes sont visibles, que le plafond oscille en présence d'une faible sollicitation ou que son état est mauvais. Si, sur un plafond à poutres en bois ou un mince plafond en béton, on intègre une construction de sol lourde pour des raisons acoustiques, le plafond doit être contrôlé sur le plan statique. Souvent, des renforcements sont nécessaires, qui impliquent alors également des interventions dans la construction de plafond existante.

Illustration 8.16:

Transformation Muesmattstrasse 37, Berne Sécurisation du mur au premier étage pendant la démolition d'un mur au rez-de-chaussée.

Illustration 8.17:

Transformation Muesmattstrasse 37, Berne Démolition du mur et installation d'un linteau en acier.



Illustration 8.18 (en haut à gauche):

Bâtiment du Parlement à Berne, coupe transversale avec projets partiels de transformation. Vert = rénovation de la halle de la coupole. Rose = changement d'affectation du troisième étage. Bleu = rénovation de la salle du Conseil national. Rouge = remise en état de l'enveloppe du bâtiment. Jaune = nouvelle entrée pour les visiteurs.

Illustration 8.19 (en bas à gauche):

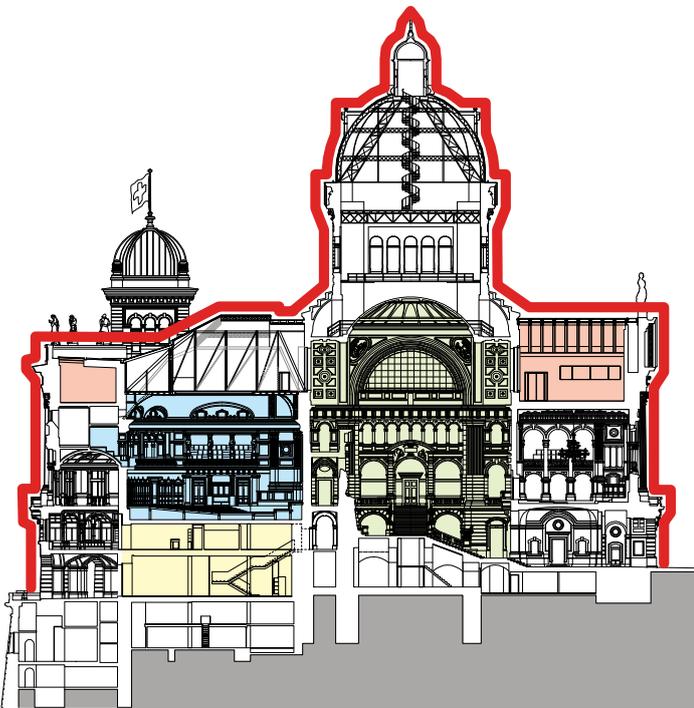
Bâtiment du Parlement à Berne. Déconstruction sous la salle du Conseil national pour la nouvelle entrée pour les visiteurs. Supports pour la sécurisation provisoire de la salle du Conseil national.

Illustration 8.20 (en haut à droite):

Château Hofwil à Münchenbuchsee. Renforcement du plafond avec Renoantik, une technique de restauration du bois.

Illustration 8.21 (en bas à droite):

Hôpital-de-l'Île Dermatologie de Berne. Renforcement du plafond à poutres de bois avec un composite bois-béton.



8.5 Constructions existantes – nouvelles normes

Pour l'entretien des structures, la norme SIA 269 fournit les principes et définit les procédures pour le traitement des structures existantes. La norme SIA 269 est complétée par les normes SIA 269/1 à 269/7 pour les actions et les différentes méthodes de construction (construction en béton, construction métallique, structures composites acier-béton, construction en bois, construction en maçonnerie, géotechnique). Elles sont destinées à fournir le cadre permettant d'optimiser les mesures de conservation.

Sécurité structurelle: La protection des structures existantes expire si un changement d'utilisation est prévu (p.ex. par la transformation de bureaux en salles de réunions), si des interventions dans la structure existante sont nécessaires (p.ex., la suppression d'éléments de support ou d'ouvertures pour de nouvelles conduites de câbles), si des charges supplémentaires doivent être supportées (p.ex., à la suite d'une surélévation ou de l'installation d'une mezzanine) ou si des dommages évidents suscitent des doutes quant à la sécurité structurelle d'un élément de construction (p.ex., à la suite de l'absence de travaux d'entretien).

Aptitude au service: L'évaluation de l'aptitude au service des ouvrages doit généralement être réglée en consultation avec le propriétaire ou l'exploitant de l'ouvrage.

Séismes: De nombreux bâtiments existants présentent une résistance aux

séismes insuffisante par rapport aux exigences actuelles. Dans le cas de transformations et de réparations de bâtiments existants, les maîtres de l'ouvrage et les planificateurs sont invités à préciser si une inspection de la sécurité sismique est souhaitable ou nécessaire. Cet examen permettra de déterminer si le bâtiment est suffisamment résistant aux tremblements de terre ou si des mesures de protection doivent être prévues. La norme SIA 269/8 constitue la base de la vérification de la sécurité sismique des bâtiments existants. Si un examen détaillé n'est pas effectué, il faut en tout cas s'assurer que la sécurité sismique du bâtiment n'est pas compromise.

Le formulaire Ebs (canton de Berne) concernant la sécurité sismique doit être rempli lors de la demande de construire d'une construction nouvelle ou d'une transformation. En fonction des résultats aux questions posées, un expert en ingénierie des structures doit être nommé et consulté. Cette personne doit ensuite cosigner le formulaire.

*Illustration 8.22:
Bâtiment avec
rez-de-chaussée
meuble.*



*Illustration 8.23:
Bâtiment de l'auditorium
HPH de l'EPF
de Zurich. Détail de
l'ouvrage en tubes
d'acier.*



Sites contaminés, matériaux de construction toxiques, concepts de matériaux, séparation des systèmes

Urs-Thomas
Gerber et
Daniel Ernst

La manière dont nous utilisons les ressources naturelles influe sur notre santé, sur notre sécurité, mais également sur la beauté de notre environnement proche et de notre planète. Cela concerne également notre gestion des matériaux construits. Lorsque l'on parle de déconstruction des déchets, cela sous-entend que l'on doit également les éliminer. Si l'on ne considère pas les matériaux de construction de bâtiments déconstruits comme des déchets, mais plutôt comme des matières brutes secondaires potentielles, ce n'est plus sur leur élimination que l'on se concentrera, mais sur leur réutilisation ou leur recyclage. Néanmoins, avec l'existant, avant de penser à la dépose des matériaux de construction ou à l'intégration de nouveaux matériaux, il faut analyser si des sites contaminés se trouvent sur le terrain ou si des matériaux de construction toxiques ont été utilisés dans le bâtiment. Ce n'est qu'après avoir déterminé cela que l'on pourra élaborer un concept d'élimination puis un concept de matériaux pour la construction – transformation.

9.1 Sites contaminés

D'après l'Ordonnance sur les sites contaminés (OSites), les sites contaminés sont des sites pollués par des déchets, pour lesquels il est prouvé qu'ils ont un effet dommageable ou polluant, ou qui présentent le risque concret que de tels effets se produisent. Les sites contaminés sont donc des

sites pollués nécessitant un assainissement (art. 2 al. 2 et 3 OSites). Par ailleurs, il existe également des sites pollués qui nécessitent uniquement une surveillance et d'autres pour lesquels, en raison de leur faible pollution, ni une surveillance ni un assainissement ne sont requis. Dans ce contexte, il est important de différencier les notions de sites contaminés et de déchets. Le mot déchet est lui aussi un concept bien défini. Les déchets sont des objets mobiles dont se débarrasse leur propriétaire ou dont l'élimination est offerte dans l'intérêt public (art. 7 al. 6 LPE). Un gros œuvre pollué (par des matériaux de construction toxiques tels que l'amiante) ou des déblais pollués sont évalués selon la législation sur les déchets et non selon la législation sur les sites contaminés.

Procédure d'analyse d'un site contaminé

La gestion des sites contaminés est règlementée dans l'Ordonnance sur les sites contaminés. Il existe ainsi par exemple plusieurs types de sites contaminés:

- Les sites de stockage (p. ex. décharge communale de déchets ménagers)
- Les sites d'exploitation (p. ex. emplacement non consolidé d'un garage automobile)
- Les lieux d'accident
- Les stands de tir (sites d'exploitation selon l'OSites)

L'Ordonnance sur les sites contaminés oblige les cantons à établir un cadastre des sites pollués (CSP). Avant d'enregistrer un site dans le CSP, le canton en informe le propriétaire. Celui-ci est alors en droit, avant l'enregistrement, de faire une déclaration ou de mener une enquête plus approfondie. Le CSP est un instrument de travail dynamique. Si une analyse détermine qu'un site n'est pas pollué, ou si un site pollué est assaini, ce site est rayé du

Questions importantes relatives à la reconstruction

- Le terrain comprend-il des sites contaminés?
- Le bâtiment présente-t-il des matériaux de construction toxiques?
- Des matériaux déjà intégrés peuvent-ils être réutilisés?
- À quelles exigences les nouveaux matériaux doivent-ils satisfaire?

cadastre. À l'inverse, des terrains non inscrits au cadastre peuvent être enregistrés dans celui-ci à la suite de nouvelles analyses ou de nouvelles découvertes.

L'illustration 9.1 montre un détail de sites pollués dans le canton de Berne. Les surfaces possèdent une couleur différente selon le type de site contaminé. Bon nombre de sites Internet fournissent également d'autres informations importantes pour les projets de construction. Les cartothèques contiennent par exemple des informations sur les concentrations en radon, les sondes géothermiques, les implantations des installations émettrices (téléphonie mobile, radio) etc.

Liens vers des sites Internet sur le sujet

www.giszh.zh.ch

www.be.ch/geoportal

<https://map.geo.bs.ch>

www.ag.ch/geoportal/de/pub

Investigation historique et technique

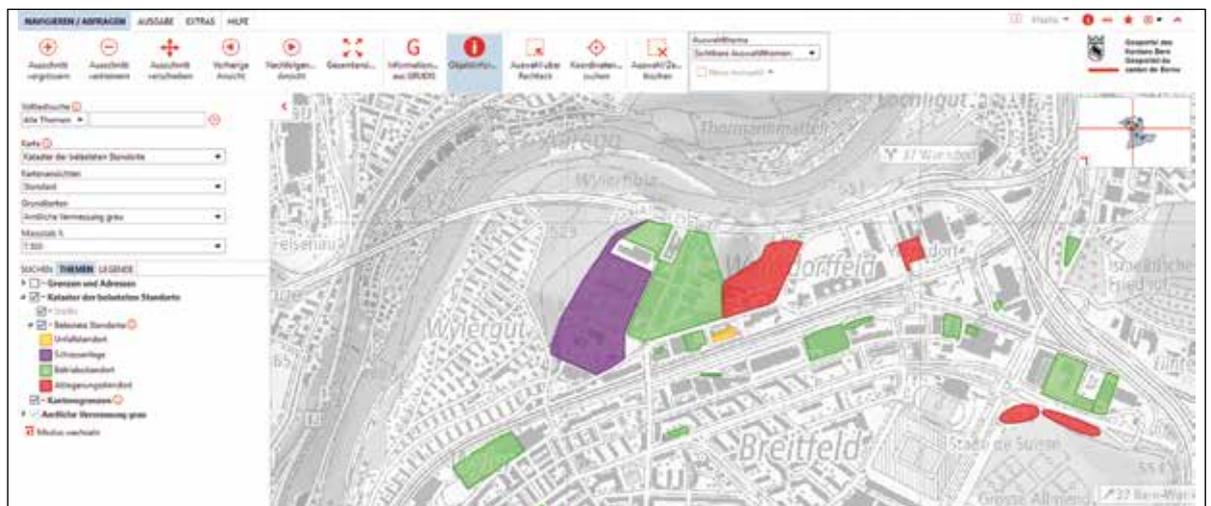
■ L'investigation historique permet de reconstituer l'histoire du site, dont on suppose qu'il est pollué par des déchets ou des produits toxiques, suite à l'utilisation qui en a été faite. Cette investigation permettra de décider si des investigations plus approfondies sont nécessaires, et si oui, de quel type et de quelle importance elles doivent être. L'investigation historique débouche en général sur un cahier des charges destiné à structurer l'investigation technique. Ce cahier des charges définit l'objet à étudier, l'importance des recherches à effectuer et les méthodes d'analyse à appliquer; il doit être soumis à l'autorité compétente. Cela permet de garantir l'utilisation efficiente et orientée objectif des analyses à mener, souvent très coûteuses, d'une part, et d'entamer très tôt un dialogue entre tous les partenaires concernés, d'autre part.

■ L'investigation technique permet d'identifier les atteintes du site et d'évaluer le danger concret que le site fait courir aux biens à protéger. Les données à collecter doivent permettre de décider si le site nécessite éventuellement une surveillance ou s'il doit faire l'objet d'un assainissement.

Source: Investigation historique et technique des sites pollués – Office de la protection des eaux et de la gestion des déchets du canton de Berne (OPED) – nouvellement Office des eaux et des déchets du canton de Berne (2007)

Illustration 9.1:
Détail du géoportail
du canton de Berne
dans la rubrique
«Sites pollués».

Tableau 9.1:
Procédure en cas de
site contaminé selon
le questionnaire relatif
au site
et à une utilisation
future.



Intention du propriétaire du lieu	Cas 1	Cas 2a	Cas 2b
	Pollué, aucune analyse	Pollué, analyse non prioritaire	Pollué, analyse prioritaire
A Utilisation antérieure, aucune dépense	Aucune analyse	Analyse en cas de modification d'état	Analyse dans les 3 ans
B Modification d'état (agrandissement, commerces, héritage, valeur comptable)	Programme d'estimation d'élimination des déchets, moins-value	Programme minimum pour définir le besoin de contrôle ou d'assainissement	
C Retrait du site du CSP, remboursement des frais d'analyse	Programme visant à définir si le site est pollué ou non		

Étapes d'une évaluation légale d'un site contaminé

Tout d'abord, on peut vérifier dans le cadastre respectif (Géoportail du canton) si le terrain y est répertorié comme site pollué. Si c'est le cas, une société spécialisée dans les analyses des sites contaminés peut être mandatée pour mener l'enquête. Il peut également arriver que le site soit répertorié comme nécessitant une analyse selon l'OSites art. 5 al. 4, et qu'une analyse préalable ait déjà été effectuée. Étant donné que l'OSites accorde néanmoins un «délai raisonnable» pour remplir cette obligation, l'analyse n'a pas encore été effectuée pour tous les sites nécessitant une telle étude. Pour simplifier, on peut dire que selon le questionnaire en rapport avec le site et son utilisation future, différentes procédures sont applicables (Tabl. 9.1). Selon le projet du propriétaire, un programme d'analyse spécifique est mis en œuvre (en règle générale en collaboration avec un spécialiste des sites contaminés).

Exemple: Un site industriel est enregistré dans le CSP sur la base d'enquêtes menées par les autorités. En outre, le site est répertorié comme nécessitant une analyse. Une analyse préalable doit donc être réalisée dans un délai raisonnable. En règle générale, celle-ci se compose d'une analyse historique et d'une analyse tech-

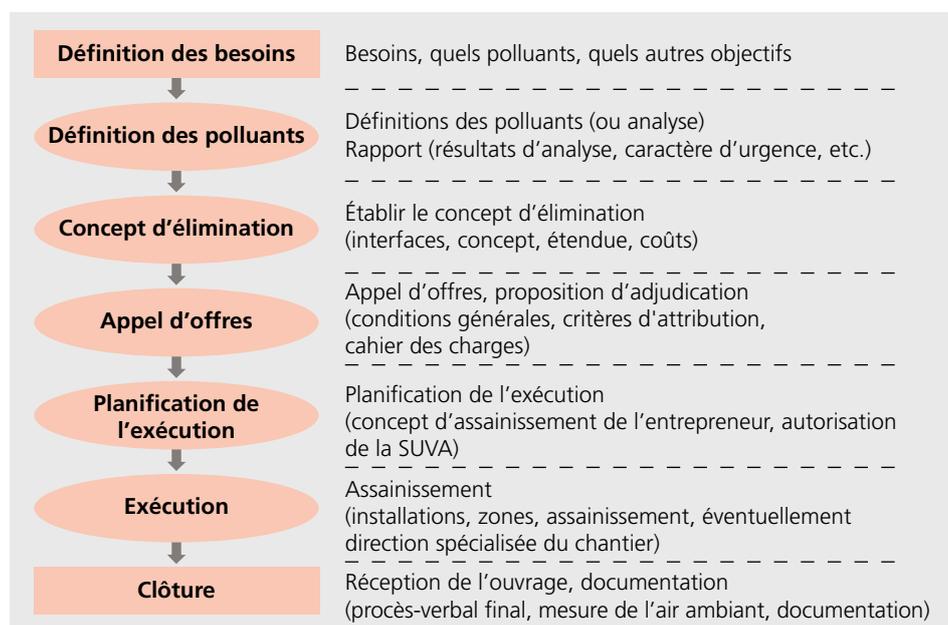
nique. Si les analyses préalables déterminent qu'un site n'est pas pollué, celui-ci est rayé du cadastre.

Si un site nécessite un assainissement, c'est-à-dire est un site contaminé au sens réel du terme, une analyse détaillée doit préciser le type et l'ampleur de la pollution ainsi que ses conséquences possibles, ce qui permettra de déterminer l'urgence de l'assainissement ainsi que les objectifs généraux respectifs. Pour finir, ces analyses constituent également une base détaillée pour l'estimation des coûts et à la charge de qui ils sont.

Le projet d'assainissement qui doit être élaboré à partir des obligations d'assainissement définit les mesures d'assainissement à mettre en œuvre (pertinentes sur le plan écologique, réalisables sur le plan technique et supportables sur le plan financier). L'assainissement s'effectue ensuite en tenant compte des normes en vigueur, des lois, directives et cahiers techniques, comme par exemple l'Ordonnance sur le traitement des déchets (OTD), la Directive pour la valorisation, le traitement et le stockage des matériaux d'excavation et déblais (Directive sur les matériaux d'excavation), la norme SIA 430 etc.

Liens

www.bafu.admin.ch/contamines



*Illustration 9.2:
Déroulement d'une analyse de polluants et d'un assainissement des polluants.*

9.2 Matériaux de construction toxiques

Nous avons expliqué auparavant comment procéder en présence d'un site potentiellement pollué. Il est toutefois également possible que le gros œuvre existant, qui doit être totalement ou partiellement démantelé, contienne ce que l'on appelle des matériaux de construction toxiques. Ceux-ci comprennent l'amiante, les HPA, le PCB, les métaux lourds, les agents de préservation du bois etc.

Principaux produits toxiques

- Amiante
- PCB: polychlorobiphényles
- HPA: hydrocarbures polycycliques aromatiques
- Métaux lourds

Tableau 9.2:
Domaine d'utilisation des matériaux de construction toxiques.

■ PCP: pentachlorophénol

■ Fibres minérales artificielles

Depuis le 1^{er} janvier 1991, il est interdit d'utiliser des produits contenant de l'amiante dans le bâtiment (RS 814.81). Toutefois, on trouve aujourd'hui dans presque tous les objets d'une transformation ou d'un démantèlement des produits toxiques tels que l'amiante; et ce, notamment dans les biens immobiliers qui ont été réalisés avant 1991. Il est donc important de rechercher des substances toxiques dans le gros œuvre avant toute transformation ou tout démantèlement. Pour ce faire, il est primordial de savoir quelles substances toxiques doivent être prises en compte dans l'analyse du bâtiment. La situation juridique est très différente selon la substance toxique. Ainsi, pour l'amiante et le PCB, des directives et prescriptions

Polluant	Utilisation, autres indications
Amiante	Dans des centaines de produits différents, tels que p. ex.: <ul style="list-style-type: none"> • Les produits en fibrociment tels que les plaques ondulées, les ardoises de façade, les produits de jardin, les conduites et gaines d'aération etc. • Les revêtements de sol et muraux, les chapes flottantes, les mortiers • Les mortiers pour les isolants de tuyaux et les dallages • Les kits de fenêtres • Les plaques de construction légère, le carton et le papier mâché • Les feuilles pour toitures plates • Les crépis de plafond et de mur etc.
PCB	<ul style="list-style-type: none"> • Les joints d'étanchéité dans les constructions en béton • Les composants électriques (condensateurs) • Les peintures • Les fluidifiants dans les produits d'isolation, les huiles et les matières synthétiques
HPA	Dans les bâtiments, les HPA sont principalement utilisés dans des matériaux de construction contenant du goudron et dans les peintures et colles à base de poix. Le goudron a été utilisé en association avec du carton bitumé, le liège des conduites ou des poutres en bois.
Métaux lourds	Les métaux lourds désignent principalement les apparitions des métaux suivants: <ul style="list-style-type: none"> • plomb (Pb), Cadmium (Cd), mercure (Hg), Chrom (Cr) et autres. Ces métaux ont trouvé différentes applications dans la construction: <ul style="list-style-type: none"> • dans les peintures • dans les produits de protection (laques, biocides etc.) • dans les installations électriques
PCP	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisé jusqu'à environ 1989 (interdiction du PCP) • Attention avec les aménagements de toit ou les pavillons en bois (p. ex, jardins d'enfants) • Les produits typiques étaient notamment «Xylamon», «Xyladecor» et «Aidol» • Demander au propriétaire si des produits de protection du bois ont été utilisés • En cas de doute, procéder à des analyses pour rechercher du pentachlorophénol et du lindane
Fibres minérales artificielles	Ce sont les anciennes fibres minérales qui sont mentionnées ici en particulier (faible biosolubilité jusqu'à environ 1994). En cas de travaux avec des isolants à fibres minérales, il convient de porter au minimum un masque de protection FFP3.

Cette liste est non exhaustive.

claires sont applicables. Tandis que pour d'autres substances toxiques, la situation juridique quant à un assainissement n'est pas clairement définie en Suisse. On peut citer ici en exemple les fibres minérales artificielles.

Pour garantir dès le début la détermination des principales grandeurs cibles et le déroulement correct des opérations sur le plan juridique et technique, il est recommandé de faire appel à un spécialiste. La Suva propose sur son site Internet une liste d'entreprises qui réalisent des recherches de substances toxiques, notamment d'amiante.

Liens complémentaires

www.suvapro.ch → Branches et thèmes → Amiante
www.bag.admin.ch
www.bafu.admin.ch
www.forum-asbest.ch

9.3 Choix de matériaux

Le meilleur bilan écologique est celui des matériaux qui ne sont pas utilisés. En d'autres termes, un choix de matériaux commence par une réflexion sur ce qui est vraiment nécessaire, ou autrement dit, comment construire pour ne pas avoir besoin de quelque chose, ou seulement en faibles quantités. La seconde question consiste à savoir s'il est possible d'utiliser des matériaux qui ont déjà été utilisés en tant que matériaux de construction. En premier lieu, il peut s'agir de matériaux déjà utilisés dans le bâtiment, tels que par exemple un ancien sol en parquet. Il peut toutefois également s'agir de matériaux qui ont été utilisés ailleurs et qui ne sont

plus utiles. La dernière question, et non la moindre, consiste à savoir comment garantir que les nouveaux matériaux seront les plus durables possibles.

Juste ce qu'il faut

Les constructions compactes possèdent une surface vers l'extérieur plus petite que les bâtiments très découpés, pour un volume identique. Ainsi, une construction compacte permet d'économiser du matériau de façade et d'isolation, et donc également de l'argent. L'exploitation est elle aussi par la suite plus avantageuse, ce qui permet encore de réduire les coûts. Pour les plafonds ou les murs intérieurs également, cela permet d'économiser des couches de composants et donc de l'énergie grise. On répond ainsi mieux aux souhaits de l'utilisateur et aux exigences techniques telles que par exemple la protection phonique ou anti-incendie, avec le moins de matériaux possibles.

Le cycle des matériaux

Les matériaux non renouvelables devraient en particulier être intégrés dans un cycle, afin de pouvoir rester disponibles pour les générations futures. Si le démantèlement est achevé de manière adéquate (SIA 430) et que les matériaux sont séparés par type, rien n'empêche leur réutilisation ultérieure. Il faut alors en premier lieu envisager une réutilisation. En d'autres termes, les matériaux de construction sont réintégrés, sans modification de leur composition, dans une construction, où ils sont utilisés dans le même objectif. Il peut par exemple s'agir d'un ancien bois de construction exempt d'agents de préserva-

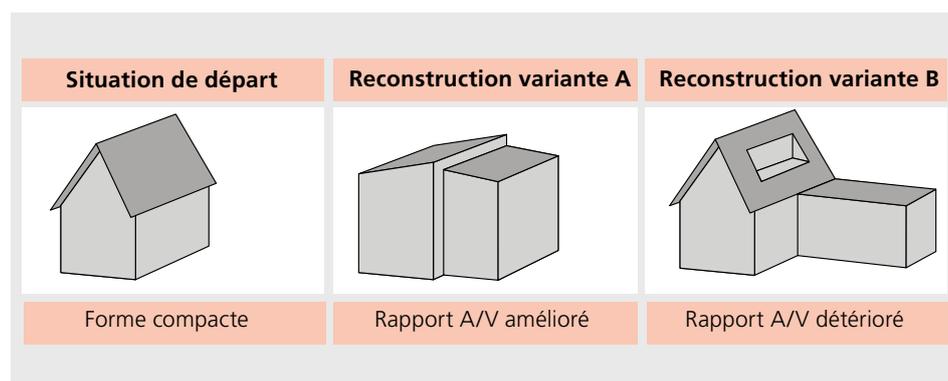


Illustration 9.3: Reconstruction compacte.

tion du bois ou d'un ancien sol en parquet. L'étape suivante est une autre réutilisation. Là aussi, il n'y a aucune modification de la composition; cependant, l'objectif d'utilisation est différent. Une réutilisation de ce type est par exemple possible avec des briques, réaffectées en tant que dalles d'extérieur, ou avec d'anciens revêtements de sol en bois ou d'anciennes boiseries murales réutilisées en tant que sous-toitures ou sous-plancher. Si ce potentiel est utilisé, il existe encore une autre possibilité de réutilisation. Après une préparation physique ou chimique, le matériau est ramené dans le même groupe de produits. Les déchets métalliques recyclés ou le béton recyclé appartiennent à ce type de recyclage de matériaux. La dernière possibilité est la revalorisation. Les matériaux de construction utilisés sont alors amenés dans un autre groupe de produits après une préparation physique ou chimique. La laine de verre est un produit de ce type, obtenu à partir de déchets de verre, tout comme les plaques de plâtre notamment fabriquées à partir de vieux papier.

Nouveaux matériaux durables

Bon nombre de matériaux utilisés sont neufs. Dans ce cas, l'énergie grise ou la teneur en énergie primaire est un critère important. Si l'on compare deux revête-

ments de sol entre eux, il est toutefois également important de faire appel à la grandeur de référence pertinente (p. ex. kg/m²). Il y a néanmoins d'autres critères qui contribuent également à une matérialisation durable et que l'on ne peut pas exprimer en MJ ou en kWh. Les critères qualitatifs comprennent des aspects tels que la disponibilité des matières premières, les émissions de polluants au cours du cycle de vie, l'aptitude du matériau à être réparé et sa facilité d'entretien, ainsi que la possibilité de valorisation. Des aspects tels que l'ancrage régional et les chaînes de plus-value constituent également des grandeurs caractéristiques importantes.

Liens complémentaires

www.ecobau.ch

www.nachhaltigesbauen.de

1. Réutilisation

Aucune modification du matériau, même objectif d'utilisation
p. ex. réutiliser un ancien sol en parquet

2. Réutilisation

Aucune modification du matériau, autre objectif d'utilisation
p. ex. allée de jardin en anciennes briques

3. Recyclage

Même objectif d'utilisation après traitement physique ou chimique
p. ex. recyclage de béton à partir de granulats de béton (béton RC B)

4. Recyclage

Autre objectif d'utilisation après traitement physique ou chimique
p. ex. fabriquer des tapis de laine de verre à partir de verre usagé

Illustration 9.4:
Niveaux de recyclage des matériaux de construction.

9.4 Séparation des systèmes

L'idée de construire un bâtiment de façon flexible afin qu'il réponde également aux attentes de demain doit être considérée comme le point central de la construction écologique. Un bâtiment flexible est un bâtiment qui doit pouvoir être adapté à de nouvelles exigences telles que des espaces plus vastes ou des unités d'utilisation plus grandes, mais qui doit également permettre de se voir affecter une utilisation complètement différente. Aujourd'hui, on rase souvent des bâtiments après 30 ou 40 ans, car il sera trop complexe de ré-

pondre aux nouvelles exigences d'utilisation dans le bâtiment existant par des mesures constructives.

Cette flexibilité d'utilisation joue un rôle encore plus important dans le cas des constructions des pouvoirs publics.

C'est pourquoi l'Office des immeubles et des constructions du canton de Berne (OIC) a élaboré une méthode de planification orientée vers l'avenir: la séparation des systèmes. Son application méthodique dans tous les projets de construction doit permettre une utilisation à long terme, en contrepartie de faibles suppléments d'in-

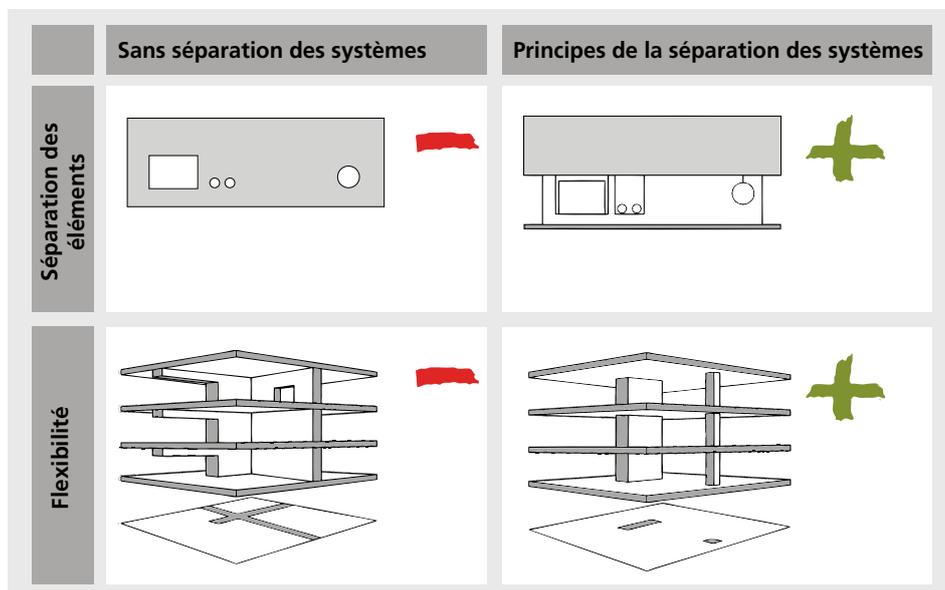


Illustration 9.5: Les deux principes de «séparation des éléments» et de «flexibilité».

Niveau de système:	Composants	Durée de vie ou d'utilisation
Système primaire (pour l'essentiel non modifiable)	<ul style="list-style-type: none"> • Structure porteuse • Enveloppe du bâtiment • Raccordement 	50 à 100 ans (investissement à long terme)
Système secondaire (adaptable)	<ul style="list-style-type: none"> • Murs intérieurs, plafonds, sols • Aménagement intérieur • Installations 	15 à 50 ans (investissement à moyen terme)
Système tertiaire (modifiable)	<ul style="list-style-type: none"> • Mobilier • Appareils • Systèmes techniques 	5 à 15 ans (investissement à court terme)

Tableau 9.3: Les trois niveaux de système – système primaire, secondaire et tertiaire, de la séparation des systèmes.

vestissement lors de la planification et de l'édification des bâtiments. La possibilité de remplacer facilement les composants et une flexibilité d'utilisation la plus grande possible sont les deux objectifs principaux de cette méthode.

Séparation des éléments et flexibilité

La séparation des éléments vise à garantir que les éléments de construction ayant des durées de vie et d'utilisation différentes ne sont pas reliés entre eux sans possibilité de séparation. Les trois niveaux système primaire, secondaire et tertiaire, aident à considérer en priorité la durée d'utilisation des composants et éléments de construction.

Pour séparer les systèmes, par exemple, les conduites et conduits de ventilation ne doivent pas être intégrés dans une dalle (Illustr. 9.5), car leur durée de vie et d'utilisation respective est bien plus courte que celle de la dalle. La notion de flexibilité désigne la possibilité d'adapter un bâtiment à des évolutions et à des changements d'utilisation ultérieurs. On définit dans ce contexte les charges utiles, les ossatures, les largeurs nominales, les hauteurs de pièces, les réserves, les possibilités de surélévation ou d'agrandissement ainsi que d'autres paramètres.

Étant donné que les bâtiments sont souvent conçus pour une seule utilisation planifiée, un changement d'utilisation génère des coûts élevés, car la structure du bâtiment est trop ciblée vers la première utilisation.

Pour remédier à cela, on prévoit dans les bâtiments neufs et les rénovations une marge de manœuvre définie pour l'avenir. Celle-ci implique notamment les mesures suivantes:

- Ossature de bâtiment suffisamment large
- Profondeurs de bâtiment correspondantes
- Hauteurs d'étage suffisamment importantes
- Adaptations des charges utiles
- Eventuellement, renforcement des fondations
- Réserve pour un raccordement

En tenant compte de ces éléments orientés vers de futures utilisations, on génère pour le bâtiment une plus-value essentielle, en contrepartie de peu d'efforts supplémentaires. Pour chaque projet, il faut donc estimer si une modification possible est réaliste et quels efforts demanderait un rééquipement après-coup. Il convient donc de prévoir avec soin les marges appropriées, et ce dès la réalisation.

La séparation des systèmes est un outil important pour maintenir au plus bas les coûts du cycle de vie des bâtiments.

Liens complémentaires

www.bve.be.ch → Immeubles &

Constructions → Publications → Environnement et écologie

Sécurité et protection incendie

Jürg Tschabold Les changements d'affectation, rénovations et modifications sur la structure requièrent une vérification de l'ensemble de la sécurité d'un bâtiment. Les objectifs de protection que le propriétaire et l'utilisateur doivent atteindre nécessitent un concept global de sécurité et de protection incendie, adapté au gros œuvre. Les prescriptions et normes actuelles doivent être prises en compte. Après une transformation et dans le cas d'une nouvelle affectation, un bâtiment doit atteindre le standard de sécurité d'une construction nouvelle. Les prescriptions légales permettent alors une prise en compte de la proportionnalité. Les autorités ne peuvent exiger que les mesures résultant des prescriptions. Le respect des prescriptions et normes ne garantit toutefois pas le respect des objectifs de protection pour l'exploitation ou d'autres exigences. Les mesures de sécurité et de protection incendie peuvent influencer sur le plan d'étage, la forme et la construction. Par exemple, les voies d'évacuation peuvent modifier l'organisation précédente ou prévue des pièces. Elles doivent donc être planifiées dès le début. Il est ainsi recommandé de se mettre en relation au plus tôt avec des spécialistes techniques et les autorités.

10.1 Objectifs de sécurité et de protection

Afin que la sécurité réponde aux attentes et aux exigences d'un maître d'ouvrage, il faut déterminer, sur le plan qualitatif et quantitatif, avec celui-ci et avec les porteurs de risque (p. ex. les assurances et les autorités), les risques acceptables et les objectifs de protection à atteindre en cas d'incident, soit:

- Sécurité des personnes (exigée par la loi)
- Dommages acceptables sur le bâtiment
- Disponibilité du bâtiment et des installations (interruption acceptable de l'exploitation)
- Ampleur admissible des dommages matériels

Si les objectifs de protection du maître d'ouvrage sont respectés, les prescriptions sont par expérience respectées pour l'essentiel. En présence de dangers et de risques importants, les assurances peuvent exiger des mesures particulières visant à les réduire.

10.2 Prescriptions

Les exigences minimales résultent de lois et de normes. Les autorités peuvent accorder des dérogations. Sont à prendre en compte:

- Les lois et les prescriptions sur la protection de l'environnement
- La Loi sur le travail avec les ordonnances 3 + 4 et les directives de la CFST et de la Suva
- Les prescriptions en matière de protection incendie (norme de protection incendie et directives de l'AEAI)
- Les instructions, p. ex. des sapeurs-pompier et des services d'urgence
- Éventuellement, les exigences et recommandations des assurances.

Les divergences par rapport à la norme de protection incendie et d'autres prescriptions sont possibles si une sécurité suffisante peut être justifiée avec un concept de protection incendie.

10.3 Concept de protection incendie

Un concept de protection incendie se compose de mesures, adaptées les unes aux autres, de protection incendie sur les plans constructif, technique et organisationnel. Le concept de protection incendie doit être reporté sur les plans et faire l'objet d'un rapport. Pendant l'utilisation, les plans de révision correspondants doivent toujours être mis à jour en fonction de l'état actuel.

10.4 Protection incendie sur le plan constructif

Structure porteuse

La structure porteuse doit atteindre une résistance au feu suffisante correspondant à la charge d'incendie. En cas d'incendie, elle doit résister à l'effondrement pendant un temps défini. La défaillance d'un élément ne doit pas entraîner l'effondrement d'un bâtiment tout entier. Une résistance insuffisante au feu peut en règle générale être compensée par une protection incendie sur le plan technique (installations Sprinkler).

Illustration 10.1:
Cage d'escalier avec vitre anti-incendie au Palais fédéral de Berne.
(Source: Vetrotech St. Gobain)



Voies d'évacuation

Le nombre et la disposition des voies d'évacuation ont une grande influence sur la forme des constructions. Ces voies d'évacuation ne peuvent pas être compensées par des mesures de remplacement. Les portes des voies d'évacuation doivent toujours s'ouvrir dans le sens de la fuite et doivent pouvoir être ouvertes sans moyen auxiliaire.

Séparation coupe-feu, compartiments coupe-feu

La séparation d'un bâtiment en compartiments coupe-feu vise à limiter la propagation d'un incendie. Les exigences requises dépendent de la taille et de l'utilisation. Elles peuvent être influencées par la protection technique contre l'incendie. Il convient généralement de séparer:

- les étages
- les utilisations ayant un risque d'incendie différent
- les liaisons verticales telles que les escaliers, les cages d'ascenseur, les conduits d'installation et les puits
- les locaux techniques
- les appartements dans les immeubles d'habitation

Illustration 10.2:
Espaces adjacents séparés par des vitres anti-incendie.
(Source: Vetrotech St. Gobain)



Illustration 10.3:
Clapet coupe-feu correctement emmuré dans le plafond.

Les compartiments coupe-feu ne remplissent leur fonction que si leur séparation est mise en œuvre de façon intégrale sur le plan constructif, sans aucune lacune.



Murs et plafonds

Les éléments constituant les compartiments coupe-feu sont:

- des éléments de construction pour séparer les bâtiments construits (murs coupe-feu)
- des éléments de construction pour séparer les étages et leur répartition, p. ex. plafonds en béton, murs en béton ou maçonnerie et avec un revêtement résistant
- des vitrages avec systèmes agréés

Barrières anti-incendie

Les ouvertures et passages dans les parois coupe-feu et les plafonds doivent être équipés de barrières résistantes aux charges d'incendie.

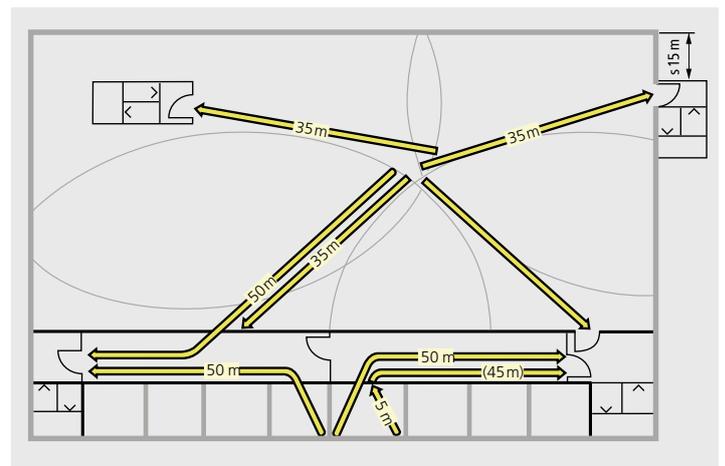
- Les passages pour les personnes et les marchandises nécessitent des portes et des portails coupe-feu.
- Les passages, par exemple pour les conduites, nécessitent des cloisonnements.
- Les conduits de ventilation doivent être équipés de clapets coupe-feu.
- Pour les installations de transport, des raccords spéciaux sont généralement nécessaires.

Les directives de protection incendie de l'AEAI «13-15, Matériaux et éléments de construction» et «14-15, Utilisation des matériaux de construction» doivent être respectées lors du choix des matériaux et du dimensionnement (www.bsvonline.ch).

10.5 Protection incendie sur le plan technique

La protection technique contre l'incendie comprend des mesures usuelles (extincteurs) et des mesures spéciales (installations d'alarme incendie et d'extinction, appel des pompiers, systèmes de désenfumage). Les installations anti-incendie, et notamment les Sprinklers, permettent d'obtenir dans un concept de protection incendie certains allègements de mesures constructives ou permettent de compenser des points faibles, par exemple des exigences réduites en matière de structure porteuse ou en matière de compartiments coupe-feu (verre E à la place du verre EI).

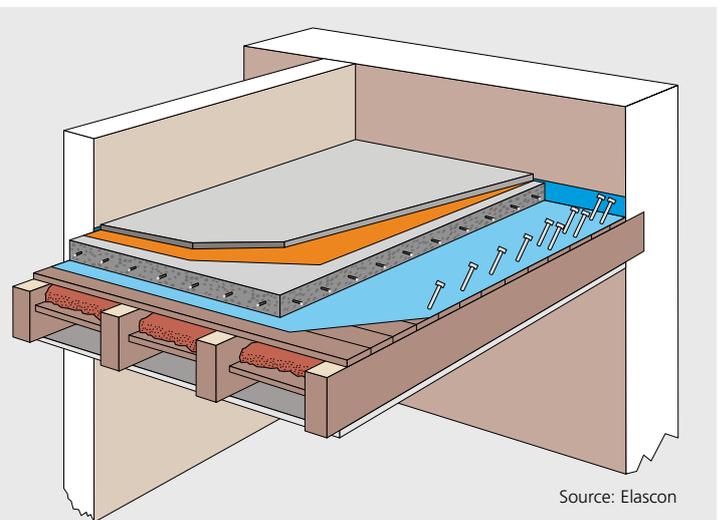
Illustration 10.4: Représentation des longueurs de voies d'évacuation selon l'Ordonnance AEAI 4 et l'ordonnance 4 sur la Loi sur le travail et les ordonnances y relatives (OLT).



Mise à niveau des structures existantes, exemple de plafond à poutres sur REI 30 amplifié. Construction après rénovation, de haut en bas:

- Planchers
- Couche de séparation
- Sous-couche (p. ex., anhydrite ou ciment)
- Couche de séparation ou isolation
- Disposition des poutres
- Remplissage ou isolation
- Plancher coulissant
- Revêtement de plafond EI 30

La condition préalable à la rénovation est un plafond suffisant sur le plan statique.



Source: Elascor

Protection contre la foudre

Celle-ci est prescrite pour certains bâtiments et certaines utilisations. La protection extérieure contre la foudre se compose de (réseaux de) paratonnerres, des dérivations et de la mise à la terre, généralement conçue sous forme de ligne annulaire ou de mise à la terre de fondation. En outre, selon l'utilisation, une protection intérieure contre la foudre avec équilibrage de potentiel et protection contre les surtensions peut être nécessaire.

10.6 Mesures organisationnelles

Assurance qualité

Aujourd'hui, l'assurance qualité est importante tant pour la construction que pour l'exploitation des bâtiments. La Directive 11-15 sur la protection incendie, «Assurance qualité en protection incendie», en vigueur depuis 2015, régit cette question d'un point de vue officiel.

Système d'alarme

il n'existe que peu de prescriptions spécifiques relatives au système d'alarme pour une évacuation. L'essentiel, pour le sauvetage des personnes, est que l'évacuation puisse être déclenchée le plus tôt possible. Des systèmes adéquats (p. ex. installations de sonorisation) sont éventuellement à prévoir. Les messages vocaux sont préférables au son d'une sirène d'alarme.

Organisation

La sécurité des personnes et la sécurité d'exploitation ne peuvent être garanties qu'en présence d'une organisation appropriée:

- Les responsables sont désignés et formés (délégués à la sécurité).
- Le personnel est instruit, des exercices sont effectués.
- Des contrôles et travaux de maintenances sont réalisés à intervalles réguliers.

Protection contre l'intrusion

À l'inverse de la protection incendie, il n'existe quasiment aucune prescription des autorités en matière de protection contre l'intrusion et le vol. L'objectif de protection à atteindre doit être défini avec le maître de l'ouvrage. Pour les exigences en matière de protection contre l'intrusion, il existe différentes classes à EN 1627, SIA 343.201. Les éléments d'une classe d'exigence particulière doivent résister à une tentative d'intrusion plausible (Tabl. 10.1). Il est important d'avoir une classe de protection homogène pour l'ensemble du périmètre à protéger.

Tableau 10.1: Classes de protection pour des mesures contre l'effraction conformément à EN 1627.

Classe de protection	Temps de résistance	Type de cambrioleur, mode opératoire (Modus operandi)
RC 1 N*	3 minutes	Les composants de la classe de résistance RC1 N ne bénéficient que d'une protection limitée contre l'utilisation d'outils à levier.
RC 2 N*	3 minutes	Le cambrioleur occasionnel tente l'effraction d'un composant fermé et verrouillé avec des outils simples, tels que tournevis, pince et coin.
RC 2	3 minutes	Le cambrioleur occasionnel tente l'effraction d'un composant fermé et verrouillé avec des outils simples, tels que tournevis, pince et coin.
RC 3	5 minutes	Le cambrioleur tente l'effraction d'un composant fermé et verrouillé avec un deuxième tournevis et un pied de biche ainsi que des outils de forage.
RC 4	10 minutes	Le cambrioleur expérimenté utilise en plus des scies et des outils de percussion tels que hache, ciseau, marteau et burin ainsi qu'une perceuse à accu.
RC 5	15 minutes	Le cambrioleur expérimenté utilise en plus des outils électriques tels que p. ex. perceuse, scie sauteuse, scie sabre et meuleuse d'angle.
RC 6	20 minutes	Le cambrioleur expérimenté utilise en plus des outils électriques tels que p. ex. perceuse, scie sauteuse, scie sabre et meuleuse d'angle.

*N: Élément de construction sans exigences de sécurité posées au vitrage.

Concepts énergétiques

Martin Stocker,
Martin Aeberhard

11.1 Enveloppe et techniques – un seul système

Notre législation, nos normes et nos standards ont tant évolué au cours des dernières années que l'on ne peut passer outre un développement de projet dans lequel les différents éléments sont interconnectés. Le développement de concepts de bâtiment à la pointe du progrès, dans lesquels une gestion économique et écologique de nos ressources est primordiale, n'est pas réalisable sans la prise en compte des interactions du bâtiment, notamment de l'enveloppe et des systèmes techniques. Dans chaque bâtiment, l'orientation et le concept de base du bâtiment s'influencent mutuellement de façon décisive. Cette problématique trouve une solution pratique dans un processus d'itération, qui doit être mis en œuvre à un stade précoce du projet. Toutes les disciplines telles que l'architecture, la physique du bâtiment et la technique du bâtiment doivent alors s'accorder mutuellement pour tendre vers un objectif commun et développer ensemble un concept optimal.

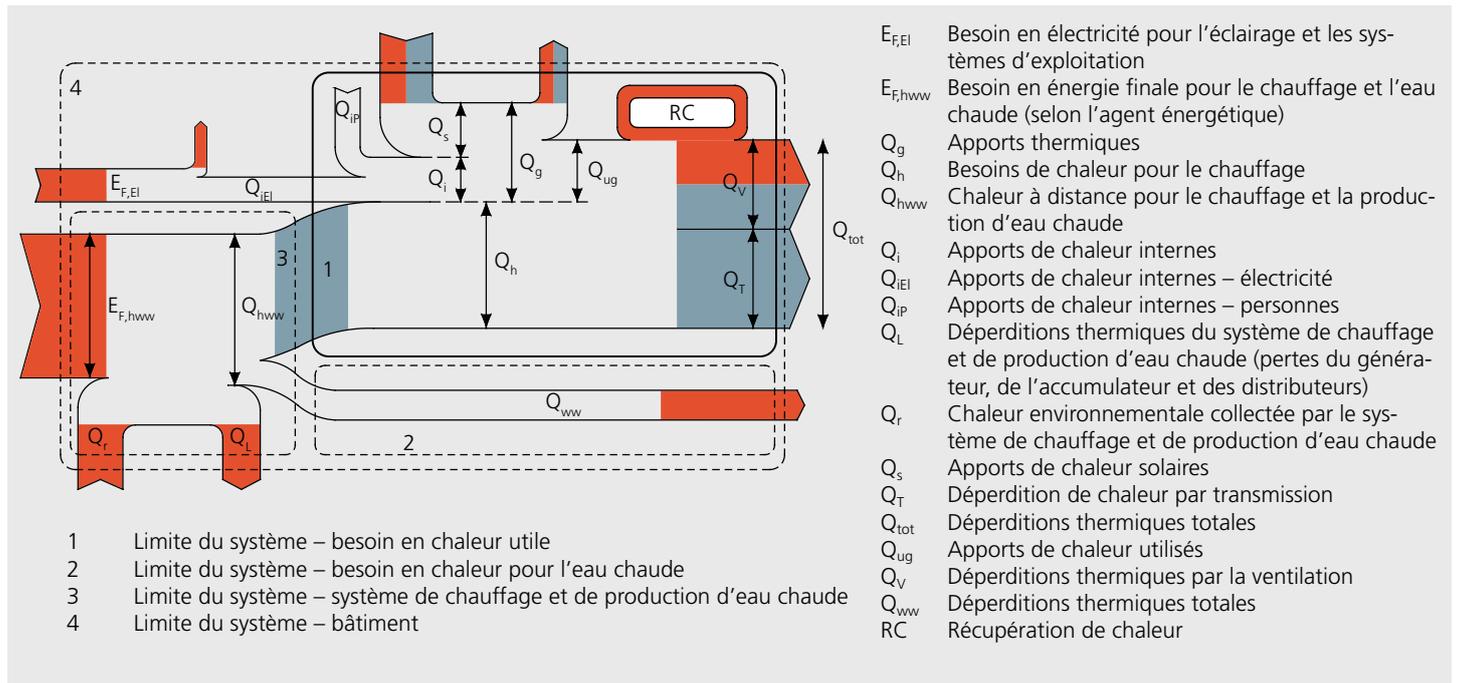
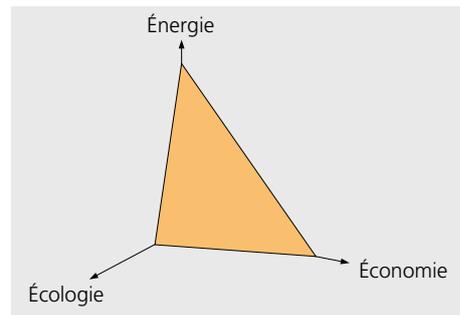
11.2 Comment évaluer la qualité d'un concept énergétique?

La qualité d'un concept énergétique peut se caractériser par les paramètres suivants (Illustr. 11.2).

■ **Énergie:** En principe, on différencie l'énergie utile pertinente pour les justificatifs (p.ex. le besoin en chaleur utile selon SIA 380/1) et la quantité d'énergie fournie (énergie finale). La qualité de la construction, le concept de bâtiment et les utilisateurs déterminent d'une part largement le besoin de base du bâtiment. D'autre part, une technique de bâtiment appropriée permet de mettre à disposition l'énergie

Illustration 11.1:
Représentation du bilan énergétique d'un bâtiment non climatisé.
Rouge: bilan total influençable positivement par le concept énergétique, par des équipements techniques correctement dimensionnés et par une autoproduction
Bleu: bilan global influençable positivement par le concept énergétique ou par la construction ainsi que par les éléments individuels et l'enveloppe du bâtiment. (Source: SIA 380/1)

Illustration 11.2:
Paramètres caractéristiques d'un concept énergétique. Dans cet exemple, l'accent est mis sur la rentabilité des mesures énergétiques, sans que les aspects écologiques soient spécialement pondérés.



thermique de façon efficiente et une partie de l'énergie rejetée du bâtiment peut être récupérée et réutilisée. Enfin, la production propre d'électricité ou de chaleur permet également d'influencer positivement le bilan énergétique, par exemple par l'utilisation de capteurs solaires (Illustr. 11.1). Pour l'évaluation, le besoin en chaleur d'un bâtiment est en général converti en une valeur spécifique, par exemple l'indice énergétique en kWh/m²a. Il est rare que les valeurs de la demande énergétique fassent référence à d'autres variables telles que la demande énergétique par lit de patient dans un hôpital. De cette façon, les besoins énergétiques de différents bâtiments de même usage peuvent être comparés et évalués.

■ **L'écologie** est évaluée qualitativement et quantitativement à l'aide des bilans écologiques (Tabl. 11.1).

■ **Économie**: un bon concept énergétique doit également satisfaire des principes économiques. D'une part, il s'agit de déterminer les coûts d'investissement pour le projet de construction. Les coûts du cycle de vie, c'est-à-dire la prise en compte économique des coûts totaux d'un bâtiment, d'une installation ou d'une mesure technico-structurelle au-delà de sa durée de vie utile sont un autre aspect. En déterminant ces indicateurs, il est également possible de créer une base de décision pour les variantes de systèmes dans un concept énergétique.

La détermination de ces trois paramètres pour évaluer la qualité d'un concept énergétique peut être complexe. Il devient alors rapidement évident que l'on ne peut pas optimiser individuellement chacun de ces paramètres, car ils s'influencent fortement les uns les autres. Un bon concept énergétique est ainsi un optimum équilibré, orienté vers les besoins du maître d'ouvrage, entre les trois niveaux de considération.

11.3 Facteurs de notation de l'écologie

Les émissions de CO₂ ou le bilan CO₂ d'une installation, d'un bâtiment ou de toute une zone représentent en principe une évaluation partielle de la qualité écologique d'un concept, qui prend comme référence les effets cumulés des émissions de gaz à effet de serre et ainsi également du changement climatique (Tabl. 11.1). Depuis la conférence sur l'environnement à Kyoto, la réduction des émissions de CO₂ est l'objectif convenu au plan international. En Suisse, les émissions de CO₂ sont depuis 2010 grevées d'une taxe de 96 francs par tonne de CO₂ (état en 2019). La taxe sur le CO₂ fait partie de la Stratégie énergétique 2050 de la Confédération. L'avantage de ce niveau de considération est que le bilan CO₂ total d'une installation, d'un bâtiment ou par exemple d'une zone tout entière comprend toujours le champ d'action de tous les agents énergétiques utilisés et ainsi, ne limite pas la marge de manœuvre du planificateur, tout en l'obligeant dans le même temps à considérer à tout moment la situation d'un point de vue global.

Énergie primaire

L'énergie primaire comprend, avec l'énergie finale (énergie fournie au bâtiment), également le besoin en énergie pour la production et le transport. Le «besoin total en énergie primaire» comprend les énergies non renouvelables et les énergies renouvelables (p. ex. l'énergie hydraulique, le bois/la biomasse sans coupe rase des forêts primaires, les énergies solaire, éolienne, géothermique et environnementale). Le «besoin en énergie primaire d'énergies renouvelable» comprend seulement les parts d'énergies renouvelables (p. ex. les agents énergétiques fossiles et nucléaires ou le bois provenant de coupes rases de forêts primaires). Pour le calcul de l'énergie primaire, l'énergie finale est multipliée par les facteurs respectifs de l'énergie primaire (Tabl. 11.1). Par exemple, pour la mise à disposition de 1 kWh de bois déchiqueté, il faut au total 1,11 kWh

Données des écobilans dans la construction, CSFC/eco-bau/IPB 2009/1:2016

Numéro ID	Énergie	Commande		UCE'13 UCE	Energie primaire		Émissions de gaz à effet de serre kg CO ₂ -eq
		Grandeur	Unité		renouvelable kWh oil-eq	non renouvelable	
41	Combustibles¹						
41.001	Mazout EL	Énergie finale	kWh	234	0,01	1,23	0,3010
41.002	Gaz naturel	Énergie finale	kWh	137	0,00	1,06	0,2280
41.003	Propane/butane	Énergie finale	kWh	200	0,01	1,15	0,2730
41.004	Coke de charbon	Énergie finale	kWh	477	0,01	1,45	0,439
41.005	Briquettes de charbon	Énergie finale	kWh	456	0,01	1,20	0,399
41.006	Bois en bûches	Énergie finale	kWh	93,1	0,99	0,1160	0,02740
41.010	Bois en bûches avec filtre à particules	Énergie finale	kWh	88,2	0,99	0,1190	0,02750
41.007	Plaquettes de bois	Énergie finale	kWh	80,8	1,05	0,0628	0,01070
41.011	Plaquettes de bois avec filtre à particules	Énergie finale	kWh	73,7	1,05	0,0651	0,01080
41.008	Granulés de bois	Énergie finale	kWh	81,1	1,04	0,157	0,02720
41.012	Granulés de bois avec filtre à particules	Énergie finale	kWh	76,8	1,04	0,160	0,02730
41.009	Biogaz	Énergie finale	kWh	109	0,032	0,299	0,1300
42	Chaleur à distance						
42.001	Chauffage central à mazout	Énergie finale	kWh	341	0,02	1,68	0,408
42.002	Chauffage central à gaz	Énergie finale	kWh	194	0,01	1,51	0,3140
42.003	Chauffage central à bois	Énergie finale	kWh	120	1,58	0,143	0,0496
42.004	Centrale de chauffage à bois	Énergie finale	kWh	102	1,33	0,1280	0,0423
42.005	Centrale de chauffage EWP air/eau (JAZ 2.8)	Énergie finale	kWh	186	0,99	1,140	0,0780
42.006	Centrale de chauffage EWP à eaux usées (COP 3.4)	Énergie finale	kWh	124	0,17	0,894	0,0408
42.007	Centrale de chauffage EWP à eau souterraine (COP 3.4)	Énergie finale	kWh	155	1,03	0,963	0,0620
42.008	Centrale de chauffage EWP à sonde géothermique (COP 3.9)	Énergie finale	kWh	139	1,05	0,849	0,0574
42.009	Centrale de chauffage avec géothermie	Énergie finale	kWh	67,3	1,36	0,162	0,02070
42.010	Centrale de chauffage à géothermie	Énergie finale	kWh	47,6	0,465	0,125	0,01480
42.011	Combustion des déchets	Énergie finale	kWh	7,31	0,0093	0,0504	0,00270
42.012	Couplage chaleur-force à diesel	Énergie finale	kWh	120	0,012	0,617	0,1450
42.013	Couplage chaleur-force à gaz	Énergie finale	kWh	84	0,011	0,596	0,1270
42.014	Couplage chaleur-force à biogaz	Énergie finale	kWh	72,9	0,026	0,207	0,0785
42.015	Couplage chaleur-force à biogaz, agriculture	Énergie finale	kWh	28,2	0,0135	0,0667	0,02050
42.016	Chaleur à distance, moyenne réseaux CH	Énergie finale	kWh	92,9	0,326	0,549	0,1080
42.017	Chaleur à distance avec valorisation de la chaleur des déchets, moyenne réseaux CH	Énergie finale	kWh	75,5	0,264	0,452	0,0888
43	Chaleur utile						
43.001	Chaudière à mazout EL	Chaleur utile ²	kWh	251	0,01	1,30	0,3220
43.002	Chaudière à gaz naturel	Chaleur utile ²	kWh	151	0,01	1,16	0,2490
43.003	Chaudière à propane/butane	Chaleur utile ²	kWh	219	0,01	1,26	0,2960
43.004	Chaudière à coke de charbon	Chaleur utile ²	kWh	708	0,02	2,03	0,649
43.005	Chaudière à briquettes de charbon	Chaleur utile ²	kWh	676	0,01	1,52	0,590
43.006	Chaudière à bois en bûches	Chaleur utile ²	kWh	152	1,58	0,194	0,04540
43.010	Chaudières à bois en bûches avec filtre à particules	Chaleur utile ²	kWh	144	1,58	0,198	0,04560
43.007	Chaudière à plaquettes de bois	Chaleur utile ²	kWh	116	1,42	0,097	0,01980
43.011	Chaudière à plaquettes de bois avec filtre à particules	Chaleur utile ²	kWh	106	1,42	0,100	0,01990
43.008	Chaudière à granulés de bois	Chaleur utile ²	kWh	108	1,32	0,210	0,0382
43.012	Chaudière à granulés de bois avec filtre à particules	Chaleur utile ²	kWh	103	1,32	0,213	0,0383
43.009	Chaudière à biogaz	Chaleur utile ²	kWh	121	0,035	0,330	0,1420

Tableau 11.1: Extrait de la partie Énergie de «Ökobilanzen im Baubereich 2016» KBOB / eco-bau / IPB 2009/1:2016. Facteurs UCE ainsi qu facteurs pour les énergies primaires et les émissions de gaz à effet de serre dans le domaine des systèmes énergétiques.

Données des écobilans dans la construction, CSFC/eco-bau/IPB 2009/1:2016 (suite)

Numéro ID	Énergie	Commande		UCE'13 UCE	Energie primaire		Émissions de gaz à effet de serre kg CO ₂ -eq
		Grandeur	Unité		renouvelable kWh	non renouvelable oil-eq	
44	Chaleur utile produite sur site, y c. énergies renouvelables						
44.001	Pompe à chaleur électrique air/eau (COP 2.8)	Chaleur utile ²	kWh	149	0,82	0,908	0,0628
44.002	Pompe à chaleur électrique à sondes géothermiques (COP 3,9)	Chaleur utile ²	kWh	110	0,87	0,665	0,0456
44.003	Pompe à chaleur électrique à eau souterraine (COP 3,4)	Chaleur utile ²	kWh	123	0,85	0,760	0,0494
44.004	Collecteur plan pour eau chaude maison unifamiliale	Chaleur utile ²	kWh	102	1,33	0,275	0,0366
44.005	Collecteur plan pour chauffage des locaux et production d'eau chaude, maison familiale	Chaleur utile ²	kWh	90	1,61	0,221	0,0337
44.006	Collecteur plan pour production d'eau chaude maison à plusieurs logements	Chaleur utile ²	kWh	40,7	1,14	0,0859	0,01390
44.007	Collecteur à tubes pour chauffage des locaux et production d'eau chaude, maison unifamiliale	Chaleur utile ²	kWh	76,5	1,54	0,193	0,03080
44.008	Petit couplage chaleur-force, gaz naturel	Chaleur utile ²	kWh	70,5	0,002	0,502	0,1110
45	Électricité du réseau						
45.001	Centrale nucléaire	Énergie finale	kWh	453	0,01	4,21	0,023
45.002	Couplage chaleur-force à gaz naturel à cycle combiné	Énergie finale	kWh	308	0,01	2,22	0,466
45.023	Centrale à lignite	Énergie finale	kWh	793	0,01	3,94	1,360
45.003	Centrale à charbon	Énergie finale	kWh	768	0,03	3,91	1,240
45.004	Centrale à pétrole lourd	Énergie finale	kWh	1090	0,01	3,82	1,010
45.005	Incinération des déchets	Énergie finale	kWh	32	0,0023	0,0156	0,00693
45.006	Centrale de chauffage à bois	Énergie finale	kWh	295	3,64	0,240	0,1180
45.007	Couplage chaleur-force, diesel	Énergie finale	kWh	677	0,01	3,27	0,823
45.008	Couplage chaleur-force à gaz	Énergie finale	kWh	440	0,01	2,94	0,669
45.009	Couplage chaleur-force à biogaz	Énergie finale	kWh	374	0,09	0,827	0,403
45.010	Couplage chaleur-force à biogaz, agriculture	Énergie finale	kWh	230	0,042	0,152	0,1770
45.011	Photovoltaïque	Énergie finale	kWh	174	1,22	0,334	0,0964
45.012	Photovoltaïque toit incliné	Énergie finale	kWh	169	1,22	0,318	0,0914
45.013	Photovoltaïque toit plat	Énergie finale	kWh	156	1,22	0,324	0,0958
45.014	Photovoltaïque façade	Énergie finale	kWh	225	1,24	0,461	0,1350
45.015	Energie éolienne	Énergie finale	kWh	74	1,20	0,094	0,02600
45.016	Force hydraulique	Énergie finale	kWh	43,8	1,17	0,029	0,01220
45.017	Accumulation par pompage	Énergie finale	kWh	451	0,63	3,26	0,1390
45.018	Centrale de chauffage à géothermie	Énergie finale	kWh	103	3,17	0,191	0,03090
45.019	Mix de production CH	Énergie finale	kWh	229	0,66	1,85	0,02680
45.022	Mix de produits électriques issus d'énergies renouvelables	Énergie finale	kWh	47,8	1,17	0,0359	0,01530
45.020	Mix de consommateurs CH ³	Énergie finale	kWh	347	0,49	2,52	0,1020
45.021	Mix ENTSO-E (auparavant mix UCTE)	Énergie finale	kWh	548	0,30	2,89	0,524
46	Électricité produite sur site, y c. énergies renouvelables						
46.001	Photovoltaïque	Énergie finale	kWh	129	1,11	0,289	0,0812
46.002	Photovoltaïque toit incliné	Énergie finale	kWh	124	1,11	0,275	0,0767
46.003	Photovoltaïque toit plat	Énergie finale	kWh	112	1,11	0,280	0,0807
46.004	Photovoltaïque façade	Énergie finale	kWh	175	1,12	0,402	0,1150
46.005	Energie éolienne	Énergie finale	kWh	38,1	1,09	0,0709	0,01730
46.006	Biogaz	Énergie finale	kWh	309	0,077	0,733	0,358
46.007	Biogaz, agriculture	Énergie finale	kWh	179	0,036	0,124	0,1550
46.008	Petit couplage chaleur-force, gaz naturel	Énergie finale	kWh	447	0,01	3,39	0,749

¹ Pouvoir calorifique supérieur, ² y c. pertes de distribution (chaleur à la sortie du générateur de chaleur), ³ sans produits électriques issus d'énergies renouvelables

d'énergie primaire, dont 0,06 kWh sont toutefois des énergies primaires non renouvelables.

Unités de charge écologique (UCE)

Les unités de charge écologique (Tabl. 11.1) regroupent les différents impacts environnementaux (émissions dans l'air, le sol, l'eau et effets de l'élimination des déchets) dans une évaluation globale, les UCE (unités de charge écologique). Les différents impacts environnementaux peuvent être comparés en se basant sur la méthode de la saturation écologique. Les UCE fournissent donc une image complète des impacts environnementaux et sont basés sur la politique environnementale suisse.

■ Dans le cas de l'électricité, le mix électrique acheté a un impact très important sur le bilan environnemental (p. ex., l'hydroélectricité 43,8 UCE/kWh, le mix de consommation de CH 347 UCE/kWh). Par conséquent, au début du processus d'évaluation, le mix électrique à utiliser pour l'analyse doit être défini avec les décideurs côté maître de l'ouvrage.

■ Les facteurs UCE, charge en CO₂ et énergie primaire sont également disponibles pour les principaux matériaux de construction, installations, transport et élimination. Cela permet de réaliser un bilan écologique complet de l'ensemble du bâtiment, y compris la construction (énergie grise).

Informations complémentaires: www.eco-bau.ch → Instruments → Données des écobilans.

11.4 Objectif: efficacité énergétique

Le standard Minergie est un standard de construction non obligatoire pour les bâtiments nouveaux et modernisés. L'accent est mis sur le confort de vie et de travail des utilisateurs des bâtiments. Ceci est rendu possible par une enveloppe de bâtiment de haute qualité, un renouvellement systématique de l'air avec une utilisation rationnelle de l'énergie et le recours aux énergies renouvelables. Le maître d'ouvrage peut faire certifier le respect de ce standard. Il existe trois catégories de standards de construction: Minergie, Minergie-P et Minergie-A, et le complément Eco, qui complète les trois standards de construction avec les thèmes de la santé et de l'écologie des bâtiments. Minergie-P désigne les bâtiments à faible consommation d'énergie, dotés d'une enveloppe de bâtiment exceptionnelle et de besoins en chauffage réduits. Les bâtiments Minergie-A produisent plus d'énergie qu'ils n'en consomment. Alors que les critères tels que confort et efficacité énergétique sont propres aux bâtiments Minergie, les bâtiments certifiés Minergie-Eco satisfont en sus aux exigences d'un mode de construction sain et

Tableau 11.2: *Minergie-Eco est une extension du standard de base Minergie relative aux critères de santé et de l'écologie de la construction. (Source: Minergie)*

	Minergie	Eco	
Qualité de vie accrue	Confort <ul style="list-style-type: none"> • Confort thermique élevé • Protection solaire en été • Bonne qualité de l'air grâce à son renouvellement systématique 	Santé	
		Conditions de lumière naturelle optimales	Lumière naturelle
		Faibles immissions de bruit Faible pollution par des substances toxiques des matériaux de construction et du rayonnement	Protection phonique Climat intérieur
Charge environnementale diminuée	Efficacité énergétique <ul style="list-style-type: none"> • Besoins d'énergie faibles • Constructions nouvelles sans combustibles fossiles • Appareils et éclairage efficaces, installations techniques et éclairage • Autoproduction d'électricité • Monitoring de l'énergie 	Écologie du bâtiment	
		Longue durée d'utilisation, flexibilité d'utilisation, possibilité de déconstruction	Concept du bâtiment
		Utilisation de matériaux recyclables, produits labellisés, protection du sol Niveau bas de l'énergie grise pour la somme des matériaux de construction utilisés	Matériaux et processus de construction Énergie grise des matériaux de construction

Catégories de bâtiments			Minergie: Rénovation de bâtiments construits avant 2000			
			MKZ ¹ kWh/m ² a	E _{hwik} kWh/m ² a	Q _h in % Q _{h,li} MoPEC 14	Enveloppe du bâtiment compacte
I	Immeubles ²	ME	90	60	–	K
		ME-P	80		90	M
		ME-A	35		–	M
II	Maisons individuelles	ME	90	60	–	K
		ME-P	80		90	M
		ME-A	35		–	M
III	Administration	ME	120	55	–	K
		ME-P	115		90	M
		ME-A	35		–	M
IV	Écoles	ME	85	55	–	K
		ME-P	75		90	M
		ME-A	20		–	M
V	Commerce	ME	110	55	–	K
		ME-P	100		90	M
		ME-A	40		–	M
VI	Restauration	ME	100	65	–	K
		ME-P	90		90	M
		ME-A	40		–	M
VII	Lieux de rassemblement	ME	95	60	–	K
		ME-P	85		90	M
		ME-A	25		–	M
VIII	Hôpitaux	ME	125	85	–	K
		ME-P	120		90	M
		ME-A	50		–	M
IX	Industrie	ME	105	40	–	K
		ME-P	95		90	M
		ME-A	30		–	M
X	Dépôts	ME	65	35	–	K
		ME-P	55		90	M
		ME-A	25		–	M
XI	Installations sportives	ME	65	40	–	K
		ME-P	55		90	M
		ME-A	25		–	M
XII	Piscines cou- vertes ³	ME	–	–	100	K
		ME-P	–	–	90	M

¹ Les indices Minergie pour les bâtiments du tertiaire (catégories de bâtiments III – XI) sont valables pour les objets dont la SRE ≤ 250 m². Pour les bâtiments du tertiaire de plus grande taille, les exigences dépendent de chaque objet.

² Sur la base d'une SRE moyenne de 125 m² par unité d'habitation.

³ Exigences supplémentaires pour les piscines couvertes, Chap. 5.3 du Règlement des produits Minergie.

Tableau 11.3:
Catégories de bâti-
ments conformé-
ment à SIA 380/1
ainsi qu'exigences
selon les standards
Minergie pour les
bâtiments existants.
Un tableau ana-
logue pour les
constructions nou-
velles est dispo-
nible.

Termes, abréviations

ME, ME-P, ME-A	Minergie, Minergie-P, Minergie-A
MKZ	Indice Minergie (besoins énergétiques globaux nécessaires à l'exploitation du bâtiment)
E _{hwik}	Exigence relative aux besoins énergétiques pondérés pour le chauffage, la production d'eau chaude, la ventilation, Climatisation
K, M	Étanchéité à l'air de l'enveloppe; K = concept d'étanchéité à l'air, M = mesure de l'étanchéité à l'air / concept de mesures
Q _{h,li}	Valeur limite des besoins de chauffage pour les nouvelles constructions
SRE	Surface de référence énergétique

écologique (Tabl. 11.2). Les vastes connaissances, les outils de planification éprouvés et, enfin et surtout, l'expérience du programme Eco-Bau en constituent la base. Les trois variantes du standard Minergie ont en commun l'évaluation des besoins énergétiques d'un bâtiment à l'aide d'un indice énergétique, appelé indice Minergie MKZ. Toutefois, il ne s'agit pas de la consommation d'énergie réelle, qui peut être relevée sur un compteur. On détermine plutôt des quantités partielles d'énergie utile, à savoir les besoins en chauffage, l'énergie nécessaire pour fournir de l'eau chaude et l'énergie électrique pour la ventilation, la climatisation et la technique du bâtiment, l'éclairage et les appareils. La consommation propre et 40 % de l'électricité PV injectée dans le réseau peuvent être déduits des besoins énergétiques finaux (à partir de juillet 2019). Les différentes quantités partielles de la demande d'énergie utile et de l'électricité photovoltaïque sont converties en énergie finale avec des degrés d'utilisation, pondérés par des facteurs nationaux et additionnés pour obtenir un chiffre global. L'indice Minergie est donc une forme politiquement évaluée de la demande énergétique finale d'un bâtiment. La concentration des nombreuses quantités partielles en un seul chiffre donne aux planificateurs une certaine flexibilité dans leurs concepts, car les points faibles de l'enveloppe du bâtiment peuvent être

compensés par davantage de photovoltaïque, une technologie de construction efficace ou une énergie renouvelable de haute qualité. Afin de définir le champ d'application de l'optimisation, Minergie exige que des exigences supplémentaires soient satisfaites. Celles-ci diffèrent en fonction du standard de construction (Minergie, Minergie-P et Minergie-A) et de la catégorie de bâtiment (utilisation). Le concept de l'indice Minergie est désormais intégré dans l'édition 2014 des prescriptions énergétiques des cantons (MoPEC). À l'avenir, il faudra donc également démontrer un besoin énergétique pondéré pour le chauffage, l'eau chaude, la ventilation et la climatisation dans les applications du bâtiment. Mais contrairement à Minergie, l'électricité produite par la propre production ne peut pas être comptabilisée.

11.5 Différenciation par catégories de bâtiments

Les prescriptions des normes SIA applicables ainsi que des standards Minergie se rapportent à douze catégories de bâtiments différentes (Tabl. 11.3). Cette répartition, différenciée selon qu'il s'agisse d'une construction nouvelle ou d'une rénovation, permet de définir des valeurs limites qui prennent en compte de façon réaliste les particularités des catégories respectives.

Tableau 11.4: Catégories de bâtiments conformément à SIA 380/1 ainsi qu'exigences selon les standards Minergie pour les bâtiments existants. Un tableau analogue pour les constructions nouvelles est disponible. Les constructions nouvelles ne peuvent pas utiliser la production de chaleur fossile, sauf pour la couverture de la charge de pointe, le chauffage urbain avec <50 % de chaleur fossile et, dans le cas des centrales de production combinée de chaleur et d'électricité. En outre, les constructions nouvelles sont tenues de produire leur propre électricité.

Catégorie de bâtiment		Minergie: Rénovation de bâtiments construits avant 2000				
		Aération automatique obligatoire	Monitoring	Éclairage Justificatif SIA 387/4	Eau chaude 20 % renouvelables	Éclairage Justificatif confort thermique en été
I	Immeubles	Oui	Oui, si les installations techniques sont neuves: pour tous les bâtiments ME-A, sinon seulement si SRE > 2000 m ²	Non	–	Oui
II	Maisons individuelles	Oui			–	
III	Administration	Recommandée		Oui, si SRE > 250 m ²	–	
IV	Écoles	Oui			–	
V	Commerce	Recommandée			–	
VI	Restauration	Oui			Oui	
VII	Lieux de rassemblement	Recommandée			–	
VIII	Hôpitaux	Oui			–	
IX	Industrie	Recommandée			–	
X	Dépôts	Recommandée			–	
XI	Installations sportives	Recommandée			Oui	
XII	Piscines couvertes	Oui			Oui	

11.6 Concepts énergétiques

Marche à suivre et principes

Pour développer un concept énergétique global, il est recommandé de mettre en place une coopération entre toutes les parties en au moins sept étapes.

Procédure

- 1 Formulation des objectifs
- 2 Définition du besoin
- 3 Utilisation d'éléments passifs
- 4 Variante de base comme base de comparaison
- 5 Faible degré de technicité, installations techniques simples
- 6 Utilisation des rejets thermiques
- 7 Développement du concept en fonction de l'objectif

1. Formulation des objectifs

Avant de commencer à développer le concept énergétique, il faut définir les objectifs qu'il doit atteindre. Lors de la rénovation d'un bâtiment, le maître d'ouvrage connaît en règle générale les particularités de son bâtiment. Ainsi, son intention et son objectif en termes d'énergie, d'écologie et d'économie doivent être définis. À partir de là, on peut formuler et s'accorder sur les objectifs à atteindre. La définition des objectifs doit en principe être neutre en termes de solution et l'objectif à atteindre doit être vérifiable et circonscrit le plus précisément possible. En outre, la définition des objectifs doit laisser la plus grande marge de manœuvre possible à l'intérieur des limites fixées et doit permettre l'intégration de solutions novatrices non conventionnelles.

2. Définition du besoin

Outre la formulation des objectifs, il faut définir dans le détail, pour un concept énergétique, quels sont les besoins que doit satisfaire le bâtiment ou les différentes pièces exploitées. Il convient ainsi de déterminer les températures ambiantes en hiver et en été, la variabilité de température, les éventuelles exigences en termes d'humidité et d'aération, la gestion des charges thermiques internes, l'approvi-

sionnement en fluides spéciaux, l'alimentation électrique requise, les exigences en matière d'utilisation de la lumière naturelle et d'éclairage artificiel etc.

Selon la catégorie du bâtiment, il est rapidement évident que ce n'est pas la chaleur en hiver qui pose le problème majeur, mais bien le refroidissement des pièces en été. Les conclusions de la définition des besoins ont une influence décisive sur l'ensemble du processus de développement du concept énergétique.

3. Utilisation d'éléments passifs

L'influence des éléments passifs sur les caractéristiques d'exploitation ultérieures d'un bâtiment peut être considérable d'un point de vue énergétique, écologique et économique. L'utilisation de toutes les possibilités passives dans et sur un bâtiment est ainsi à l'origine de toutes les réflexions. Très rapidement, il devient évident que la mise en relation des différentes mesures passives nécessite une coopération entre les différents planificateurs. Souvent, pour le développement du concept et du projet, un processus itératif se met en œuvre entre la conception et l'orientation du gros œuvre, les propriétés de l'enveloppe du bâtiment, le choix des matériaux et des systèmes pour les installations techniques. L'utilisation optimisée ou maximisée des éléments passifs sur les plans énergétique, écologique et économique est en règle générale peu spectaculaire, car la conception du bâtiment et de son enveloppe doit suivre certains principes de base et que cela permet de réduire le degré de technicité dans le bâtiment. Il est essentiel que ce processus et cet objectif soient au préalable également définis et précisément orchestrés avec le maître d'ouvrage.

4. Variante de base comme variante comparative

Lors du développement d'un concept énergétique, l'équipe de planification se trouve rapidement confrontée à l'obligation de recommander ou de justifier des décisions de variantes. Il s'agit alors de montrer le degré de réalisation des objec-

tifs sur les plans énergétique, écologique et économique et de les comparer à une variante de base. Très souvent, on souhaite définir cette variante de base sous la forme d'une variante standard conventionnelle. Dans le cas d'une rénovation, on choisit par exemple souvent un remplacement 1:1 ou un chauffage à mazout traditionnel comme variante de base. Dans tous les cas, il est recommandé de définir sommairement la variante de base dès le début de la planification et de poursuivre avec les paramètres secondaires au cours de l'avancement du projet. La possibilité de comparaison à tout moment facilite alors le processus décisionnel en cours.

5. Faible degré de technicité, installations techniques simples

Un degré élevé de technicité dans un bâtiment n'est pas nécessairement garant d'un concept énergétique réussi et optimisé. Il existe assurément des bâtiments qui, en raison des exigences des utilisateurs, requièrent un degré élevé de technicité ainsi que des systèmes techniques complexes et fortement interconnectés. Malheureusement, on ne cesse de rencontrer des solutions qui contiennent trop de technique inutile. Un bon concept se caractérise par le fait que les objectifs définis peuvent être réalisés à l'aide d'un concept technique le plus simple possible, facile à comprendre et à utiliser, garantissant un fonctionnement durable. Dans une évaluation globale des coûts du cycle de vie, des concepts simples avec peu de technique tirent en général très bien leur épingle du jeu.

6. Utilisation des rejets thermiques

Dans chaque bâtiment, on produit en excès de la chaleur, de l'humidité et du froid. Leur utilisation est une possibilité simple d'influer positivement sur le bilan global du bâtiment. Toutefois, des limites physiques sont définies: la quantité d'énergie fournie et le niveau de température doivent être les plus proches possibles ou être plus élevés que ce qui peut être prélevé par l'installation au niveau du point de réutilisation. Par exemple, si le niveau de température des rejets thermiques est trop bas, une pompe

à chaleur devra être utilisée pour atteindre le niveau de température plus élevé du consommateur, ce qui réduit l'efficacité de l'utilisation des rejets thermiques sur le plan énergétique et économique. Ainsi, il est important d'optimiser la récupération ou l'utilisation directe de la chaleur, du froid et de l'humidité fournis en fonction des besoins. Il n'est généralement pas intéressant, d'un point de vue économique, de maximiser cette utilisation.

7. Développement du concept en fonction de l'objectif

Une fois les premières idées sur le concept énergétique définies au sein de l'équipe de planification, soit l'architecte, le physicien du bâtiment et les techniciens en installations, et une fois les premières esquisses du concept architectural disponibles, on peut déterminer les premiers paramètres relatifs à la conception des installations techniques nécessaires. Les premières réflexions concernent alors tout d'abord la préparation, la production et la distribution des fluides dans le bâtiment. Dans cette phase, il est intéressant d'envisager des variantes de concept, sans oublier la variante de base (voir étape 4). Dès ce stade de planification précoce, il est nécessaire de définir le mieux possible le bilan global du bâtiment en termes d'énergie, d'écologie et d'économie, résultat des idées de concept pour les différentes variantes. Ces données doivent être comparées aux objectifs (voir l'étape 1). Les variantes qui ne satisfont pas à l'objectif prédéterminé doivent être revues ou écartées. À mesure que le projet se concrétise, le bilan global du bâtiment se précise. Des mesures d'amélioration du degré de réalisation de objectifs peuvent être définies et évaluées de plus en plus précisément. Paramètres de comparaison pertinents pour la prise de décision:

- Degré de réalisation des objectifs sur les plans énergétique, écologique et économique
- Indices spécifiques pour la comparaison avec la variante de base, avec d'autres objets ainsi qu'avec des standards ou valeurs d'expérience

11.7 Tendances et outils

Indices

Les indices sont en principe des informations condensées sur des états fonctionnels quantifiables. Ils représentent une possibilité simple de projeter, de contrôler ou de comparer des résultats. Les indices intéressants pour les concepts énergétiques sont les données de consommation, les valeurs d'émissions ou les coûts, rapportés à une grandeur de base (c.-à-d. p. ex. kWh/m² a, CO₂/MWh, Fr./t CO₂ etc.). Les indices les plus connus dans le domaine de l'énergie sont les valeurs limites et les valeurs cibles, qui doivent être attestées comme base de l'évaluation d'un bâtiment ou d'éléments de construction (selon SIA 380/1 ou Minergie) dans le cadre du procédé d'obtention d'un permis de construire ou de certification du standard Minergie. L'indice énergétique quantifie la qualité énergétique d'un bâtiment et permet de réaliser des comparaisons avec d'autres bâtiments de même catégorie. Ici, on atteste de l'énergie primaire totale fournie au bâtiment pendant un an par rapport à sa surface de référence énergétique (selon SIA 416/1). Dans une comparaison de variantes, on calcule et on compare le bilan global de l'énergie primaire ou de l'énergie finale fournie, des émissions de CO₂ et des coûts d'exploitation annuels ou des coûts de cycle de vie. Si l'on implique une variante de base comme référence, l'utilité économique des applications multiples d'une variante peut être représentée de façon très expressive, par exemple en Fr./MWh ou en économie en Fr./t CO₂ économisé par an ou sur une durée de 25 ans par exemple.

Outils logiciels, aides au calcul

■ www.energieschweiz.ch:

SuisseEnergie

■ www.minergie.ch: Société Minergie

■ www.endk.ch → Professionnels →

Outils: Conférence des directeurs cantonaux de l'énergie

■ www.energytools.ch: Outils et logiciels de la SIA

Normes, standards

Les normes et les standards sont des outils précieux pour le développement d'un concept technique et de construction. Aujourd'hui, il existe toute une série de normes et de standards à validité universelle et qui ont pour certains trouvé un écho dans des lois et des ordonnances.

■ www.webnorm.ch: Plateforme de la SIA pour l'ensemble de ses collections de normes, documentation SIA et normes européennes. La sélection se fait avec des fonctions de recherche simples (mots-clés).

■ www.minergie.ch: Association Minergie avec exigences relatives aux standards, aides à l'utilisation et formulaire justificatifs.

■ www.endk.ch: Conférence des directeurs cantonaux de l'énergie avec documentation relative au justificatif énergétique, aides à l'application, modèles de prescriptions énergétiques des cantons (MoPEC) et autres outils.

■ www.kbob.ch: Conférence de coordination des services de la construction et des immeubles des maîtres d'ouvrage publics, KBOB, avec recommandations sur la technique du bâtiment en général et sur les constructions durables en particulier.

Production de chaleur et approvisionnement en électricité

Martin Stocker

12.1 Prescriptions légales

Dans de nombreux cantons, le remplacement de la production de chaleur n'est possible qu'avec des exigences en matière de construction ou d'installations du bâtiment. Ces dispositions font partie des Modèles de prescriptions énergétiques des cantons, édition 2014 (MoPEC 2014). Dans la plupart des cantons, ces prescriptions sont soumises à des procédures parlementaires pour leur entrée en vigueur.

Conformément au MoPEC 2014, une proportion maximale d'énergie non renouvelable de 90 % s'applique au remplacement de la production de chaleur; un justificatif mathématique n'est autorisé que sous la forme de la classification CECB ou du standard Minergie. Les propriétaires ont trois options: «Solution standard», «Certification selon Minergie» ou «Classe D GEAK en matière d'efficacité énergétique globale».

Les solutions standard offrent un large éventail de mesures de construction et d'aménagement. Ils ne sont pas associés à

une obligation d'assainissement. Toutefois, il s'applique le principe que toute personne qui construit et réalise des installations doit respecter les exigences légales. Les solutions diffèrent également beaucoup en termes de coûts, outre le fait que les dépenses financières dépendent naturellement du bien.

12.2 Agents énergétiques

Dans le domaine de la construction, il est intéressant de déterminer quels sont les agents énergétiques disponibles sur le site et lesquels de ces agents énergétiques peuvent être utilisés pour atteindre les objectifs énergétiques, écologiques et économiques fixés. La disponibilité sur place doit être vérifiée à l'avance, de manière globale: il ne s'agit pas seulement de savoir si un agent énergétique particulier est présent sur le site ou peut y être amené, mais également de déterminer si cet agent énergétique, pour différentes raisons, peut ou non être utilisé sur le site (p. ex. une exploitation des eaux souterraines à des fins de

Illustration 12.1: Cinq agents énergétiques pour onze solutions standard – les spécifications MoPEC pour le remplacement de la production de chaleur. (Source: Faktor Verlag)

Si la performance énergétique du bâtiment correspond à la catégorie D du CECB ou est certifiée selon Minergie, aucune exigence ne s'applique au remplacement du chauffage.



Remplacement de la production de chaleur sans exigences

Mise en œuvre professionnelle d'une solution standard

Agents énergétiques fossiles			Agents énergétiques renouvelables		
Chaudière à énergie fossile	Gaz naturel et mazout	Gaz naturel	Électricité	Bois	Chaleur à distance
8 Nouvelles fenêtres	1 Collecteurs solaires	4 Pompe à chaleur à gaz naturel	3 Pompe à chaleur électrique	2 Chaudière à bois	5 Raccord au chauffage à distance
9 Isolation thermique	6 Couplage chaleur-force		10 Chaudière à combustibles fossiles		
11 Ventilation de l'habitation	7 Chauffe-eau-PAC avec PV				

Tableau 12.1:
Les 11 solutions standard pour le remplacement de la production de chaleur selon MoPEC 2014. 7 ou 6 solutions standard peuvent être mises en œuvre avec les agents énergétiques que sont le gaz naturel et le fioul, dont 3 sont des mesures constructives.
(Source: Faktor Verlag)

chauffage ou de refroidissement n'est pas autorisée dans les zones de protection des eaux souterraines). Les agents énergétiques disponibles pour les constructions traditionnelles se différencient par leur part en énergie primaire et leur impact environnemental lors de la combustion (c.-à-d. lors de la transformation chimique), notamment en termes de polluants et de gaz à effet de serre. En outre, les combustibles ont la propriété de ne pas être liés à des réseaux de conduites comme les autres agents énergétiques, mais de nécessiter un espace de stockage sur place (exception: gaz naturel). La dimension de cet espace de stockage dépend du pouvoir énergé-

tique spécifique et du profil de consommation que présente le bâtiment après la rénovation. En partant du système de chauffage existant, les systèmes de chauffage couramment utilisés aujourd'hui pour les bâtiments résidentiels sont énumérés dans l'illustration 12.2, avec leurs conditions limites, leurs avantages et leurs inconvénients.

Le remplacement 1:1 des chauffages électriques n'est plus autorisé par les Modèles de prescriptions énergétiques des cantons (MoPEC 2014).

Remplacement de la production de chaleur: 11 solutions standard			
N°	Solution standard	Conditions	Commentaire
1	Capteurs solaires	Pour le chauffage de l'eau avec une surface de capteurs d'au moins 2 % de la surface de référence énergétique	Installations largement standardisées; souvent non réalisables (instructions)
2	Combustion à bois	Pour la production principale de chaleur et proportionnellement avec des énergies renouvelables pour la production d'eau chaude	Avec chauffage automatique à granulés, moins de travail; déterminer l'espace nécessaire
3	Pompe à chaleur électrique	Pour le chauffage et la production d'eau chaude	Solution simple; très économique avec l'air neuf comme source de chaleur Tenir compte de la température de départ basse
4	Pompe à chaleur à gaz naturel	Pour le chauffage et la production d'eau chaude toute l'année	Solution très novatrice; faibles coûts d'exploitation; en combinaison avec des sondes géothermiques, coûts d'investissement relativement élevés
5	Raccordement à la chaleur à distance	Avec la chaleur des STEP, UIOM ou sources renouvelables	Pour les petits objets, mauvais rapport coûts-utilité; solution fiable
6	Couplage chaleur-force	Pour au moins 60 % des besoins de chaleur pour le climat ambiant et l'eau chaude; rendement électrique d'au moins 25 %	Taux de couverture élevé en autoconsommation d'électricité; conditions d'injection très variables localement
7	Chauffe-eau-pompe à chaleur avec PV	Pour le chauffage de l'eau chaude et installation photovoltaïque avec une surface de référence énergétique d'au moins 5 W par m ²	Solution simple; non réalisable partout (instructions); le local technique ne doit pas se refroidir
8	Nouvelles fenêtres	Valeur U des fenêtres au moins 2 W/m ² K avant le nouveau vitrage, au plus 0,7 W/m ² K après	Particulièrement judicieux en relation avec une isolation thermique du mur extérieur; amélioration du confort
9	Isolation thermique	Du toit, resp. du mur extérieur; au moins 0,6 W/m ² K avant l'isolation, au plus 0,2 W/m ² K après; surface concernée au moins 0,5 m ² par m ² de surface de référence énergétique	Solution durable; judicieuse si une rénovation est prévue; amélioration du confort (murs extérieurs plus chauds)
10	Production de chaleur bivalente	Avec la couverture de la charge de base avec des énergies renouvelables et celle de la charge de pointe avec des énergies fossiles; puissance du générateur pour la charge de base au moins 25 % de la puissance thermique nécessaire	Judicieux pour les grandes installations et comme appareil monobloc («hybride») dans les maisons familiales; hydraulique et régulation fastidieuses
11	Ventilation mécanique du logement	Nouvelle installation de ventilation avec récupération de chaleur; taux de récupération au moins 70 %	Judicieux pour les constructions avec une bonne isolation et imperméabilité à l'air; appareils décentralisés non appropriés en raison du taux de récupération insuffisant

12.3 Agents énergétiques fossiles

Les agents énergétiques fossiles présentent, du point de vue écologique, l'inconvénient de peser lourdement sur le bilan CO₂ global du bâtiment. Si l'on définit des objectifs de réduction importante des émissions de CO₂, la plupart des variantes impliquant des agents énergétiques fossiles sortent très vite du lot. Ces variantes présentent l'avantage de mettre en application une technique éprouvée, économique, bien établie et facile à maîtriser. En outre, du point de vue de l'exploitant, l'approvisionnement en combustibles fossiles fonctionne sans problème. L'expérience de ces dernières années montre cependant que la chaîne d'approvisionnement de ces agents énergétiques est très

sensible aux perturbations. En outre, les prix de ces agents énergétiques sont soumis à de fortes variations dans le monde entier. Les systèmes de générateurs fonctionnant avec des agents énergétiques fossiles sont ainsi plutôt adaptés à des concepts dans lesquels:

- un remplacement 1:1 est possible de façon simple, d'importants coûts d'investissement sont à l'avant-plan et on n'accorde pas une grande importance aux critères écologiques. les prescriptions légales (Chapitre 12.1) sont à respecter dans tous les cas.

- un réseau de gaz est disponible et ainsi une réhabilitation peut être réalisée avec peu d'espace et à faible coût. le biogaz et, à l'avenir, peut-être aussi le gaz issu de la production solaire (power-to-gas), pourra être acheminé via le réseau de gaz.

Illustration 12.2: Systèmes de chauffage fréquents des bâtiments d'habitation.

Chauffage existant

Chauffage à chaudière individuelle (gaz, mazout, bois)

Chaudière à mazout

Chaudière à gaz

Chauffage électrique

Sélection, dimensionnement, installation + optimisation de l'exploitation du nouveau système de production de chaleur selon les directives de dimensionnement «Garantie de performances» de l'Office fédéral de l'énergie (www.garantie-de-performance.ch)

Chaudière modulante et à condensation
Mazout | Gaz naturel

- Le mazout n'est pas un agent énergétique durable.
- Ne pas prévoir de réserves lors du calcul de la puissance.
- Utiliser des capteurs solaires pour chauffer l'eau.
- Afin d'utiliser pleinement la chaleur de condensation de la chaudière, il est conseillé d'injecter les gaz de fumée dans le circuit de retour du système de chauffage (ce qu'on appelle le «maintien de la température de retour»).
- En général, il n'est pas nécessaire de procéder à des ajustements du système de distribution de chaleur, ou seulement à des ajustements mineurs.
- Planifier une installation PV de grande surface intégrée au bâtiment.

Pompes à chaleur
Sonde géothermique | Air neuf

- En raison de la température de chauffage élevée (température de départ) dans les bâtiments pas ou mal isolés, les pompes à chaleur ont une faible performance.
- Pour les bâtiments rénovés, prévoir l'utilisation de PAC à deux allures («pompes d'assainissement»).
- Les sondes géothermiques sont mieux adaptées comme source de chaleur que l'air extérieur.
- Les registres de chauffage électrique ne sont plus autorisés pour l'exploitation régulière des bâtiments d'habitation neufs et rénovés.
- Planifier une installation photovoltaïque de grande surface intégrée au bâtiment.

Chaudière à granulés de bois

- Condition: stockage à sec du combustible (silo)
- En général, il n'est pas nécessaire de procéder à des ajustements du système de distribution de chaleur, ou seulement à des ajustements mineurs.
- Vérifier la possibilité de livraison de granulés de bois.
- En présence d'une installation de capteurs solaires pour le chauffage de l'eau, la chaudière à granulés de bois peut être arrêtée pendant les mois d'été.
- Planifier une installation photovoltaïque de grande surface intégrée au bâtiment.

Lorsque des mesures d'isolation thermique sont mises en œuvre, les radiateurs existants peuvent fonctionner à une température de chauffage inférieure (p. ex., seulement 50 au lieu de 70 °C).

■ les agents énergétiques renouvelables ne sont pas disponibles sur le site ou ne le sont pas en quantités suffisantes. un système de distribution de chaleur avec des exigences de température élevées rend l'utilisation des sources d'énergie renouvelables impossible ou la restreint fortement. dans ce dernier cas, il est intéressant de tendre vers une combinaison entre un agent énergétique fossile et une énergie renouvelable.

■ une variante de base à titre comparatif pour la prise de décision est nécessaire pour le développement d'un concept énergétique.

12.4 Énergies renouvelables

Les systèmes de générateurs éprouvés fonctionnant avec des agents énergétiques renouvelables peuvent être classés en cinq groupes:

■ les combustibles produits à partir d'énergies renouvelables ou contenant une proportion définie d'énergies renouvelables, p.ex. granulés, plaquettes de bois, biogaz

■ la chaleur à distance issue des rejets thermiques ou de la production de chaleur avec des agents énergétiques renouvelables.

■ la chaleur utile générée sur le site du bâtiment à partir de sources renouvelables

■ l'électricité du réseau ayant été produite à partir d'énergies renouvelables ou contenant une proportion définie d'énergies renouvelables

■ l'électricité produite sur le site du bâtiment à partir de sources renouvelables.

Les combustibles ayant été fabriqués à partir d'énergies renouvelables ou contenant une proportion définie d'énergies renouvelables sont connus sous la désignation de biodiesel, biogaz et bois. Le biodiesel est un combustible à base végétale. Il est majoritairement utilisé comme carburant pour les véhicules. Dans certaines grandes installations, le biodiesel est utilisé pour produire de la chaleur. Une utilisation du biodiesel en grandes quantités est aujourd'hui interdite, car les cultures nécessaires à sa production occupent de précieuses surfaces de culture, ce qui entraîne un renchérissement ou une raréfac-

tion non souhaités des produits agricoles. Les concepts utilisant le biodiesel doivent donc rester du domaine de l'exception.

Biogaz

À l'inverse, l'utilisation de biogaz est une possibilité qui présente un certain potentiel. Le biogaz est produit par la fermentation de matières organiques telles que les boues d'épuration, les déchets alimentaires, le lisier etc. et peut aujourd'hui être injecté dans le réseau de gaz après un traitement approprié. Étant donné que le biogaz est également utilisé pour la propulsion des véhicules, son utilisation à des fins de chauffage ne doit se faire que dans des conditions-cadres appropriées (p.ex. aucune possibilité d'utiliser d'autres systèmes de chauffage avec des sources d'énergie renouvelables ou une connexion directe à une production de biogaz).

Bois

Le bois est un autre combustible renouvelable très répandu, aujourd'hui généralement utilisé sous forme de copeaux verts ou de granulés. Étant donné qu'il provient généralement d'une production locale, son bilan CO₂ global est très positif. Toutefois, aujourd'hui (à partir d'avril 2019), les valeurs limites de l'Ordonnance sur la protection de l'air (OPair) s'appliquent à toutes les nouvelles installations, des poêles isolés aux grandes installations à bois déchiqueté. Ces exigences de l'OPair exigent souvent l'installation de systèmes de filtrage appropriés dans le rejet des gaz de combustion pour les capacités de combustion de 70 kW et plus. Pour les installations existantes, les délais d'assainissement doivent être respectés. Il faut également noter que la teneur énergétique et l'humidité des copeaux de bois et des granulés sont normalisées, ce qui permet de proposer différentes classes de qualité. Un chauffage automatique au bois requiert toujours l'intégration d'un silo permettant de stocker le combustible avant de l'acheminer vers la chaudière. L'autonomie souhaitée détermine le volume de stockage nécessaire, qui est nettement plus important que dans le cas du mazout. (granulés env. facteur 3, pla-

quettes de bois env. facteur 12). Il est souvent possible de convertir les citernes à mazout en installations de stockage de granulés de bois, car ils peuvent être introduits par un tuyau et que le volume disponible comprend les bacs de rétention. De plus, les citernes existantes sont fréquemment surdimensionnées, car les besoins énergétiques des bâtiments rénovés sont souvent nettement inférieurs. Le remplissage pendant la saison de chauffage ne pose pas de problème.

Pour finir, il ne faut pas oublier que les cendres d'un chauffage au bois doivent être éliminées correctement. Les chaudières à bois déchiqueté, en particulier, nécessitent beaucoup plus d'entretien que celles à mazout ou à gaz comparables et conviennent mieux pour des puissances plus élevées. Ceci doit être inclus dans le choix de la variante.

Chaleur à distance

La qualité de la chaleur à distance est déterminée par ses sources ainsi que par la température. Dans de nombreuses localités, le chauffage à distance provient des installations de combustion des déchets. D'autres réseaux de chauffage à distance sont alimentés par du bois, des rejets thermiques, de la chaleur issue de pompes à chaleur ou par des chaudières fossiles. Parmi eux, certains réseaux de chauffage à distance distribuent la chaleur provenant d'installations de couplage chaleur-force. Il

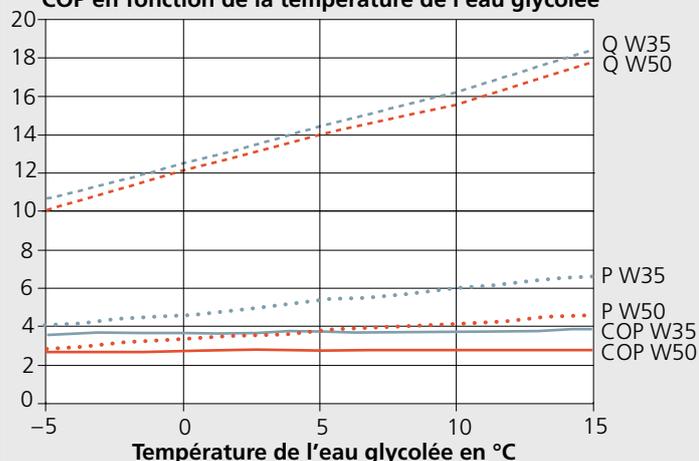
s'agit souvent d'un mix d'énergies thermiques. Dans tous les cas, cela doit permettre de déterminer la qualité garantie dans l'offre du fournisseur de chaleur à distance. Les concepts basés sur la chaleur à distance présentent en général un faible degré de technicité pour ce qui est de la centrale de chauffage présente sur le site. Étant donné qu'un grand nombre de bâtiments sont alimentés par le réseau de chauffage à distance, une bonne sécurité d'approvisionnement est généralement garantie. La chaleur à distance constitue ainsi une variante possible dans un concept d'installation.

Pompes à chaleur

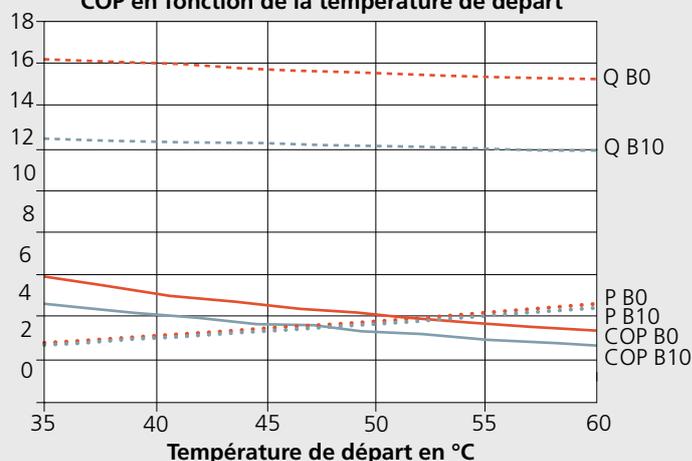
Les pompes à chaleur permettent d'exploiter la chaleur des sources d'énergie renouvelable. Leur utilisation est aujourd'hui largement répandue. Les pompes à chaleur sont en principe alimentées par l'électricité. Leur efficacité dépend de la qualité de l'appareil, du niveau de température du système de distribution alimenté et de l'adéquation de la source de chaleur (rejets thermiques, chaleur géothermique, air neuf, eaux souterraines). Pour évaluer une pompe à chaleur, le coefficient de performance annuel (COPA) est plus approprié que le rendement à un point de fonctionnement (appelé COP, Coefficient de performance, dans le jargon technique). En principe, la règle suivante s'applique: plus la température des sources de chaleur est

Illustration 12.3: Puissance thermique Q, puissance électrique absorbée P et coefficient de performance COP d'une pompe à chaleur eau glycolée-eau en fonction de la température de l'eau glycolée pour un départ à 35 ou 50 °C (page de gauche). Page de droite: La même représentation pour une température de l'eau glycolée de 0 ou 10 °C. Le coefficient de performance annuel (COPA) est défini de manière similaire au coefficient de performance, à la différence que le calcul est fait avec des énergies. Le COPA est le rapport entre la quantité de chaleur émise sur l'année et l'énergie consommée pour le fonctionnement de la pompe à chaleur et des entraînements auxiliaires associés.

Puissance thermique (Q), puissance él. absorbée (P) et COP en fonction de la température de l'eau glycolée



Puissance thermique (Q), puissance él. absorbée (P) et COP en fonction de la température de départ



élevée et plus la température de la chaleur produite est basse, moins il faut d'électricité. De nombreuses sources de chaleur (p. ex. l'air extérieur) sont soumises à d'importantes fluctuations saisonnières. Le COP indique le rapport entre la production de chaleur de la pompe à chaleur et l'énergie électrique pour l'entraînement. Les coefficients de performance annuels des pompes à chaleur se situent entre 2,5 et 5. Les valeurs COP publiées par les fabricants sont recueillies dans des conditions de laboratoire et ne renseignent que peu sur l'efficacité effective de la pompe à chaleur. Le COP comprend également la consommation d'électricité des groupes auxiliaires, donc des pompes et des ventilateurs. Une pompe à chaleur avec un COP de 3,0 produit (sur la base de la consommation d'énergie électrique) 3 fois plus d'énergie thermique. Pour une utilisation efficace des pompes à chaleur, le niveau de température de la distribution de la chaleur doit être maintenu aussi bas que possible. Les systèmes de chauffage de sol, les radiateurs ou les convecteurs de grande taille sont adaptés à cette fin.

■ L'assainissement de l'enveloppe du bâtiment permet de réduire les besoins en chaleur et ainsi d'abaisser le niveau de température nécessaire au fonctionnement d'un système de distribution de chaleur existant. Cet effet doit être pris en compte lors de l'évaluation du système de production de chaleur.

■ L'utilisation de pompes à chaleur n'a guère de sens d'un point de vue énergétique lorsqu'elles consomment l'électricité des centrales thermiques (charbon, pétrole). C'est pourquoi il convient d'utiliser l'électricité provenant de sources renouvelables. La combinaison avec une installation photovoltaïque propre pour la production d'électricité est idéale, surtout si l'eau chaude est produite toute l'année avec la pompe à chaleur.

■ Aujourd'hui, les petites installations utilisent souvent l'air ambiant comme source de chaleur. Comme le rendement est nettement plus élevé à des températures extérieures élevées qu'à des températures basses, l'eau chaude devrait également être

produite, dans la mesure du possible, avec la pompe à chaleur.

■ En hiver, les sondes géothermiques ont un niveau de température plus favorable que l'air ambiant, mais aussi des coûts d'investissement nettement plus élevés. La possibilité de placer les sondes géothermiques doit être clarifiée avec l'office cantonal compétent (dans certains cas, les cartes correspondantes sont également disponibles sur le géoportail).

■ Les eaux souterraines constituent une source de chaleur appropriée. Les coûts initiaux élevés des études hydrologiques et des essais de pompage rendent souvent son utilisation économiquement viable uniquement pour les grandes puissances calorifiques.

Solaire thermique

Pour utiliser des capteurs solaires, il faut au préalable vérifier la compatibilité de la surface disponible sur laquelle doivent être installés les capteurs, et notamment en fonction de:

■ l'orientation des champs de capteurs (env. sud-est à sud-ouest)

■ l'inclinaison des champs de capteurs (env. 25 à 40°)

■ le diagramme d'ombrage (horizon libre) sur le site d'installation (schéma diurne du soleil en été, pendant l'entre-saison et en hiver)

■ l'ombrage propre dans les champs de capteurs par les surfaces de capteurs (densité d'installation et inclinaison) sur toute l'année

Si les surfaces sont appropriées, il faut ensuite définir le dimensionnement de l'installation. Il est alors important de définir à quel niveau de température doit s'effectuer la production de chaleur dans le champ de capteurs. Cela est déterminé par le système de générateur de chaleur dans lequel est intégrée l'installation de capteurs. Plus la température de fonctionnement moyenne des capteurs est élevée (valeur moyenne entre la température de départ et la température de retour au niveau du capteur), plus le rendement des capteurs est bas. Pour des températures

supérieures à env. 50 à 60 °C, on utilise en général des capteurs à tubes sous vide, et notamment des capteurs plats. Les capteurs sont en règle générale utilisés en complément d'une production de chaleur conventionnelle, sauf pour la production d'eau chaude sanitaire. C'est en été que les capteurs solaires produisent la plus grande quantité d'énergie thermique, tandis qu'au cœur de l'hiver, ils ne produisent bien sûr que peu d'énergie thermique. Sur le plan économique, il est ainsi intéressant de dimensionner le champ de capteurs de manière à ne pas produire une chaleur excessive en été. Un degré de couverture solaire d'env. 50 % (part du besoin annuel en énergie p. ex. pour la production d'eau chaude) a montré dans la pratique être une valeur indicative raisonnable pour les premières étapes de planification dans un concept énergétique. Dans la phase de conception, pour le calcul approximatif des systèmes solaires thermiques, il existe des outils appropriés (p. ex. www.energieschweiz.ch/solarrechner). Dans un concept avec pompe à chaleur, il est souvent plus judicieux et plus économique de chauffer l'eau chaude avec la pompe à chaleur et de produire de l'électricité avec une installation photovoltaïque.

Électricité issue de sources renouvelables (électricité verte)

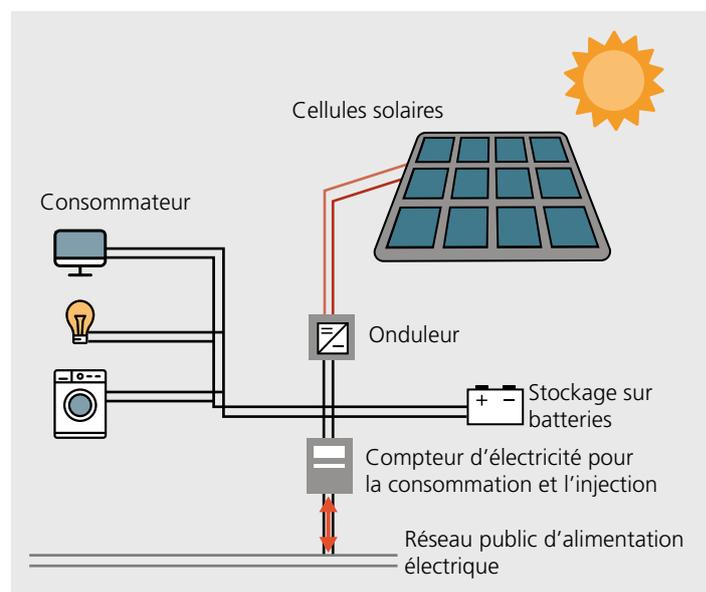
La plupart des centrales électriques proposent de l'électricité verte. On rencontre également souvent des formules mixtes, dans lesquelles seule une partie de l'électricité produite est renouvelable. L'offre est très diverse et permet d'exclure ou d'inclure de façon différenciée l'électricité provenant de certaines techniques de production. Il existe aujourd'hui sur le marché des offres pour certains types de courant écologiques certifiés (p. ex. Nature Made Star). Ainsi, un bâtiment peut aujourd'hui fonctionner exclusivement avec de l'électricité issue d'énergies renouvelables, telles que les centrales solaires, éoliennes ou hydrauliques. La décision d'utiliser ces types de courant doit incomber exclusivement à l'exploitant d'un bâtiment. Certes, par sa décision, il influe considérablement sur le

bilan CO₂ global du bâtiment, mais cela a également de lourdes conséquences sur le côté économique de l'exploitation. Lorsque, au début du projet, les objectifs énergétiques et écologiques à atteindre dans le projet de rénovation sont fixés avec le maître d'ouvrage, l'achat de courant écologique ne peut être qu'une contribution du maître d'ouvrage. Les planificateurs doivent optimiser le bâtiment et les différents systèmes pour satisfaire aux objectifs convenus. En d'autres termes, le courant écologique (ainsi que le biogaz) sont des contributions écologiques importantes qui influent fortement sur le bilan CO₂ global d'un bâtiment, mais qui ne constituent en aucun cas des mesures de réduction du besoin énergétique ou d'accroissement de l'efficacité énergétique des systèmes.

Photovoltaïque

Pour les installations photovoltaïques (installations PV), il faut tout d'abord vérifier la compatibilité de la surface d'installation disponible, tout comme pour les capteurs solaires. En raison de la forte baisse du coût des modules PV, on utilise aujourd'hui non seulement des toits orientés sud, mais volontairement toujours plus de toits est-ouest. La combinaison de surfaces PV orientées à l'est et à l'ouest permet d'obtenir un rendement plus constant pendant la journée et donc une consommation

Illustration 12.4: Principe d'un système PV avec stockage sur batteries.



d'énergie propre plus élevée. Pour un calcul approximatif d'une installation photovoltaïque en phase de conception, il existe des outils correspondants (p.ex. www.energieschweiz.ch/solarrechner).

Ces dernières années, les prix de l'électricité injectée dans le réseau ont fortement baissé, alors que dans le même temps, les prix de l'électricité achetée au réseau ont augmenté. En outre, les modules PV sont devenus moins chers et il existe toujours des subventions pour les nouvelles installations (paiement unique de la RPC). Pour les petits consommateurs, il est donc désormais économique de produire leur propre électricité avec une installation photovoltaïque. Cependant, la réinjection de l'électricité dans le réseau n'est souvent pas rentable (remarque: les tarifs de réinjection varient considérablement d'une compagnie d'électricité à l'autre; il faut donc demander les prix pour l'évaluation du concept).

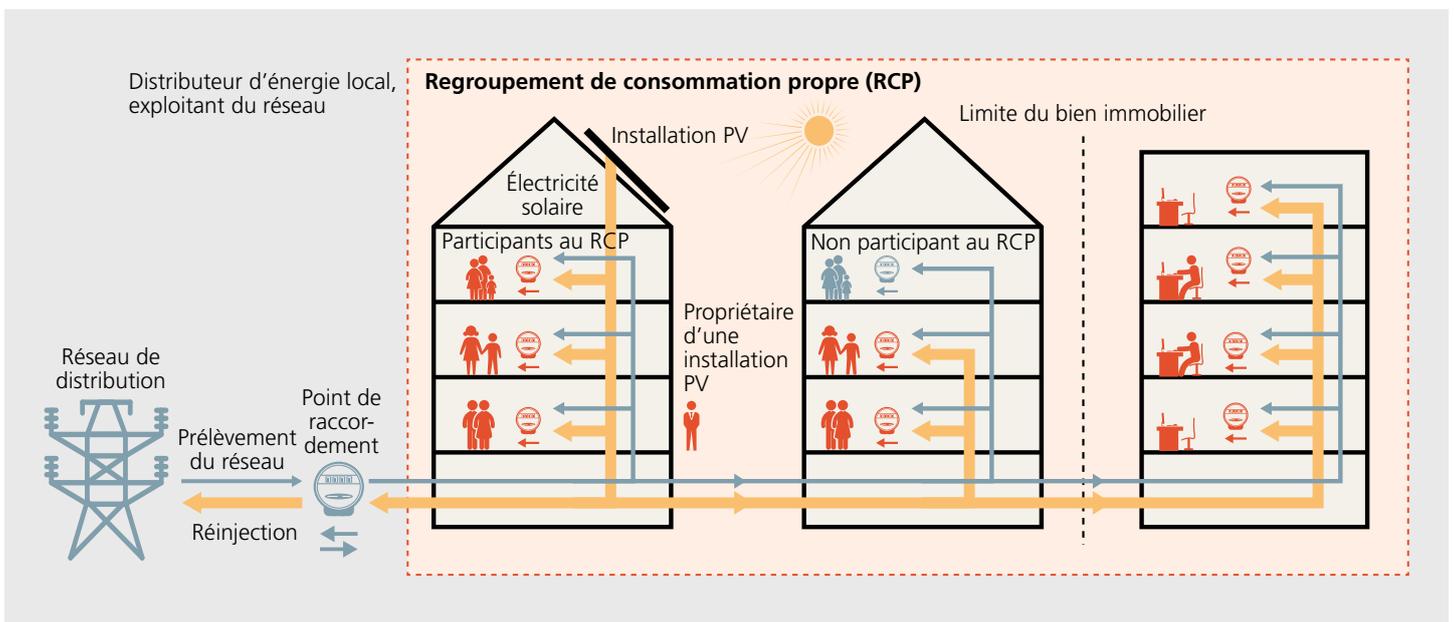
Une fois que l'adéquation de la zone d'installation a été déterminée, la conception de l'installation photovoltaïque est principalement une question d'autoconsommation d'électricité. Aujourd'hui, des outils sont disponibles pour ce calcul (p.ex. l'outil «PVopti» de Minergie). Si la consommation d'électricité n'est pas affectée de manière significative par l'assainissement lui-même (p.ex. par l'utilisation de luminaires

LED), il peut également être utile de mesurer la consommation réelle comme base pour l'optimisation de l'autoconsommation d'électricité.

Comme les cellules photovoltaïques ne produisent qu'une faible tension continue, l'énergie électrique obtenue doit être convertie en tension alternative conforme au réseau. Ces convertisseurs sont généralement installés à proximité des champs photovoltaïques. Les convertisseurs émettent de la chaleur et les ventilateurs sont audibles. Il faut en tenir compte lors de leur placement. Étant donné que la conversion implique toujours des pertes, le rendement global d'une installation photovoltaïque, c'est-à-dire y compris les convertisseurs associés, doit toujours être pris en compte pour évaluer l'ensemble du système.

Des systèmes de stockage de batteries peuvent être utilisés pour optimiser l'autoconsommation d'énergie. Les coûts de ces systèmes de stockage ont tendance à diminuer. C'est pourquoi l'utilisation d'une unité de stockage d'électricité devrait également être envisagée à l'avenir pour optimiser la consommation d'électricité du PV. Aujourd'hui, il est possible de mettre en œuvre une «coopérative d'autoconsommation» (RCP) afin d'optimiser la consommation propre d'énergie pour les immeubles d'habitation ou de bureaux (éga-

Illustration 12.5:
Principe d'une coopérative pour l'autoconsommation.
(Source: Faktor Verlag)



lement les maisons mitoyennes ou les parcelles attenantes) (voir également les «Lignes directrices pour l'autoconsommation» ou la «Consommation propre d'énergie solaire»). La condition préalable est que les consommateurs (appartements, maisons) soient tous connectés au même réseau d'alimentation. La facture de la compagnie d'électricité (EW) est basée sur un compteur total pour toute la maison (ou la totalité de la RCP). La répartition des coûts entre les différents appartements est ensuite effectuée en interne avec des compteurs privés. Il existe déjà des centrales électriques qui proposent également cette facturation interne à titre de prestation de service.

Couplage chaleur-force

Les centrales de couplage chaleur-force (CCF) se composent en général d'un moteur à (bio)gaz entraînant un générateur pour la production d'énergie électrique. Les rejets thermiques du moteur ou des gaz d'échappement sont récupérés et sont disponibles pour une utilisation dans des systèmes de distribution de la chaleur. On a pu constater que les CCF doivent être dimensionnés de manière à ce que l'électricité produite et les rejets de chaleur puissent être utilisés complètement pendant au moins 4000 heures de service annuelles. Les CCF sont donc généralement plutôt utilisés pour couvrir une charge en ruban, et non pour couvrir le besoin global d'un grand bâtiment. Dans ces conditions, le bilan global d'un bâtiment peut être positivement influencé par un CCF.

Piles à combustible

Les piles à combustible permettent de transformer l'hydrogène en électricité, chaleur, oxygène et eau sans générer d'oxydes d'azote. L'application de cette technologie dans le domaine des techniques du bâtiment n'est pour l'instant connue qu'en très petites séries. L'objectif est de produire une pile à combustible à longue durée de vie dans laquelle du gaz naturel ou du biogaz pourraient être utilisés comme agents énergétiques.

12.5 Choix des systèmes: Procédure

Choix des systèmes et configuration des systèmes en fonction de l'objectif:

La systématique d'un choix des systèmes et d'une configuration des systèmes en fonction de l'objectif présuppose une considération la plus globale possible des contextes. La procédure en neuf points.

Procédure

- 1 Conditions de base
- 2 Marge de manœuvre dans la définition des objectifs
- 3 Effet des variantes de systèmes sur l'objectif
- 4 Indices comme outils de décision
- 5 Le système bâtiment – l'inconnu
- 6 Les étapes oubliées des réglages initiaux, des ajustements et de l'optimisation
- 7 Enregistrement du comportement de l'installation
- 8 Été et hiver – deux phases bien distinctes
- 9 Comparaison régulière consigne-effectif

1. Conditions de base

Chaque bâtiment est soumis à de nombreuses conditions-cadres et obligations matérielles restreignant le degré de liberté dans le choix des systèmes, comme par exemple:

- les documents officiels, les exigences de la Loi sur l'énergie (resp. de l'Ordonnance sur l'énergie) etc. Voir chapitre 12.1 «Prescriptions légales».
- l'infrastructure non disponible telle que le réseau de gaz ou de chauffage à distance
- les eaux souterraines non présentes ou non utilisables (zones protégées)
- aucune sonde géothermique ne peut être utilisée (zones de protection)
- les risques d'opposition dans le voisinage

Il faut ainsi estimer de la manière la plus réaliste possible ce qui doit être exclu dans le choix des systèmes sur le site du bâtiment. Il faut en outre réfléchir aux va-

riantes de systèmes qui, dans le cadre du projet, dans certaines conditions, risqueraient de ne pas pouvoir être réalisées ou de ne pas l'être dans la forme souhaitée.

2. Marge de manœuvre dans la définition des objectifs

Un objectif précisément formulé laisse en général à l'équipe de planification une marge de manœuvre la plus grande possible dans le choix des systèmes. Cependant, la stratégie à la base de la définition des objectifs indique une direction claire pour le choix des systèmes. Par exemple, si une valeur limite de CO₂ est prédéterminée, il faut vérifier dans le choix des systèmes quelles sont les variantes permettant de respecter cette valeur limite.

3. Effet des variantes de systèmes sur l'objectif

Lorsque les variantes de systèmes envisageables sont définies, il est recommandé de réaliser un tableau permettant de calculer le bilan global du bâtiment, c.-à-d. intégrant tous les systèmes. Les paramètres des variantes doivent alors pouvoir être saisis individuellement en tant que variables. Cela permet déjà d'estimer dans le choix des systèmes quel effet auront les variantes de systèmes dans le système global du bâtiment et quel est le bilan global qui en résulte.

4. Indices comme outils de décision

Pour choisir une variante de système, les indices constituent une aide particulière. Ils se rapportent soit à un bilan global, soit à des critères individuels. Les indices traditionnels sont l'indice énergétique (MJ/m²a), le bilan global de CO₂ (tonne CO₂/a), les unités de charge écologiques (UCE/an), les coûts d'exploitation annuels (Fr./m² a SRE), les coûts par tonne de CO₂ économisée sur la durée de vie ou sur une période d'observation définie par exemple en fonction des objectifs du projet (Fr./t CO₂).

5. Le système bâtiment – l'inconnu

Même avec un bilan global réalisé et suivi de façon détaillée d'un bâtiment, on constate après l'entrée en fonctionnement

que les premières valeurs expérimentales peuvent nettement différer des valeurs de planification. Ces écarts doivent être étudiés dans le cadre de la finalisation du projet et les causes doivent être recherchées. C'est pourquoi dans la phase de début, les systèmes doivent être surveillés et les observations optimisées comme il se doit. On constate alors rapidement que le bâtiment présente des particularités spécifiques qui se traduisent dans sa signature énergétique. Il est cependant également évident que l'utilisateur du bâtiment exerce une influence essentielle sur l'exploitation des installations et, au bout du compte, sur la consommation d'énergie. L'essentiel est d'atteindre un fonctionnement optimisé et conforme aux besoins par une régulation fine et des corrections ponctuelles.

6. Les étapes oubliées des réglages initiaux, de l'ajustement et de l'optimisation

Dans les installations techniques, et notamment dans les systèmes grands et complexes, l'importance des réglages initiaux, de l'ajustement et de l'optimisation est souvent sous-estimée. Cela résulte alors du fait que les moyens financiers disponibles restants sont trop justes pour une grosse dépense. Les réglages initiaux, l'ajustement et l'optimisation d'une installation sont cependant aussi importants que le développement du concept d'installation approprié. Ainsi, il faut planifier, dès le début, le temps et les moyens financiers nécessaires à cette phase d'achèvement. Il est essentiel d'expliquer au maître d'ouvrage l'importance de cette phase et de régler avec lui l'objectif et la mise en œuvre dans le détail.

7. Enregistrement du comportement de l'installation

À la base de toute évaluation des points de fonctionnement, de la commande et du comportement de régulation, on trouve des mesures et des enregistrements. Dans les grandes installations, on dispose généralement pour cela d'un système d'automatisation du bâtiment. Si la phase d'ajustement, d'adaptation et d'optimisation est

planifiée à l'avance, il est possible de prendre en compte cet aspect dès le début, lors du dimensionnement de l'installation. Le concept de mesure résultant est ainsi orienté vers l'objectif. Il convient alors de surveiller activement la mise en œuvre de la systématique d'enregistrement dès le départ, et de mettre les résultats à disposition des spécialistes compétents pour le dépouillement et la mise en œuvre.

8. Été et hiver – deux phases bien distinctes

L'été et l'hiver sont deux phases bien distinctes qui posent différentes exigences et sollicitent différemment les systèmes. Les réglages initiaux, l'ajustement et l'optimisation ne peuvent ainsi souvent être réalisés qu'en deux phases. Les périodes délicates ne sont toutefois pas le cœur de l'hiver et le milieu de l'été, mais les périodes de transition respectives, au printemps et en automne. Sur le plan du bilan global du bâtiment, ces aspects jouent un rôle très important. La planification des réglages initiaux, de l'ajustement et de l'optimisation doit ainsi inclure les quatre saisons.

9. Comparaison régulière consigne-réel

Pour évaluer un concept énergétique ou une technique, le planificateur ainsi que le maître d'ouvrage réalisent une comparaison entre les valeurs réelles collectées et les valeurs de consigne conformément à l'objectif fixé. On représente souvent cette comparaison à l'aide d'indices ou de graphiques. La question est alors de savoir à quelle fréquence cette comparaison doit être effectuée. Il est recommandé de faire un bilan chaque mois, puis une fois par trimestre après la mise en service. Au bout d'un certain temps, un bilan semestriel peut suffire.

Espace extérieur

Maurus Schifferli Perception modifiée du paysage

En Europe centrale, il n'existe plus aucun paysage purement naturel. Aujourd'hui, le paysage doit être abordé comme un espace bâti, car toutes les zones, quelle que soient leur forme, ont été influencées par l'homme au cours de l'histoire. La structure agricole est alors l'expression des différentes activités humaines associées aux facteurs naturels. Dans ce sens, la ville peut également être interprétée comme un espace bâti. Le contraste entre la ville et la campagne s'estompe à vue d'œil. La campagne et la ville ne deviennent plus qu'un, et se posent mutuellement des exigences. Il en résulte une relation mutuelle de pénétration et de dépendance, dans laquelle les définitions univoques disparaissent au profit de codages multiples et de formations hybrides. Ce n'est pas la ville qui s'étend sur l'espace de la campagne, mais la ville qui renaît – par la ville. La campagne n'est comprise ni comme un contraste avec l'architecture, ni comme un exemple conventionnel, mais comme le composant élémentaire d'une structure de base hybride dont la forme finale ne se révélera qu'après les phases d'utilisation active et d'adaptation. Les développements futurs doivent concevoir la ville en tant que paysage, en tant qu'infrastructure et en tant qu'architecture, dont le critère sur le plan intellectuel est le retour à long terme dans la construction de la ville et de la campagne.

Relation durable avec les ressources géomorphologiques

Notre système d'économie de marché requiert une croissance et ainsi une augmentation de l'exploitation du sol. À l'avenir, le sol sera de plus en plus construit. On ne peut proposer aucune stratégie de durabilité qui prévoie une croissance nulle de l'exploitation du sol. À l'avenir, l'objectif sera néanmoins de réguler l'exploitation du sol, ou de réduire la croissance de la consommation. Cela passe nécessaire-

ment par une croissance modérée de la densité intérieure dans les villes. Les limites de la lisière des villes doivent être précisément définies, de manière à ce que la croissance du corps de la ville s'exerce vers l'intérieur. Les zones industrielles et commerciales sont notamment appropriées à une réutilisation à haute densité. En premier lieu, il ne faut soutenir aucune augmentation de l'utilisation du sol. Les subventionnements pour des énergies renouvelables en relation avec les constructions nouvelles doivent être en premier lieu déclenchés pour les projets d'habitation collective et non pour l'habitation individuelle.

Avec l'augmentation de l'exploitation du sol, les jardins et parcs dans les villes sont de plus en plus sous pression, bien qu'ils possèdent, outre une valeur certaine en tant que niches écologiques, également une forte valeur culturelle et sociale qui s'est souvent forgée sur des décennies. Il en va de même pour le gros œuvre qui, notamment avant 1920, témoignait d'un savoir-faire artisanal de haute qualité et d'une grande diversité de style et possède aujourd'hui une valeur quasi-estimable. À l'avenir, il y aura de moins en moins de sol à disposition. Cette consommation du sol s'accompagnera toujours également d'une augmentation des exigences vis-à-vis des espaces verts. Respecter ces exigences, les développer et répondre précisément à des besoins des plus divers, requièrent une forte dose de connaissances techniques, visant à garantir les ressources du sol et de l'eau et ainsi nos espaces verts sur le long terme.

Orientation vers le futur climat urbain

Avec la hausse prévue des températures et la multiplication drastique des journées chaudes, nous devons faire face à un changement profond des conditions environnementales. Les quartiers urbains denses et les grandes zones d'infrastructure-

ture sont déjà considérés comme des îlots de chaleur et sont touchés de manière disproportionnée par le changement climatique. Avec le développement des constructions, la charge bioclimatique par la chaleur augmentera considérablement. Une étude publiée en 2017 par l'Institut Tropical et de Santé Publique Suisse a montré, sur la base de données provenant de huit villes suisses, que le risque de décès augmente fortement à chaque degré au-dessus de 30°C, touchant en particulier les personnes âgées, les très jeunes et les malades. Afin de contrecarrer ces faits, un changement de paradigme vers les questions climatiques et écologiques est nécessaire dans le développement urbain et la planification des espaces ouverts. Il faut préparer des analyses spécifiques au site pour toutes les futures zones de densification et de reconstruction, afin que les zones de production importantes pour les masses d'air froid et les voies de circulation puissent être sécurisées à un niveau supérieur et au service de l'ensemble de la structure urbaine. Dans les cas extrêmes, il faudra même renoncer à une densification ultérieure.

La ville doit avant tout être en mesure de répondre à deux exigences importantes en matière de résilience climatique. Le corps urbain doit pouvoir se réchauffer afin que les masses d'air infiltrées et contaminées puissent s'élever, être transportées et se régénérer dans la campagne. Au sein de la structure urbaine, des masses d'air frais doivent être produites et transportées dans les quartiers et les espaces de rue. Avec les prémisses d'amélioration du climat suivantes, les projets contribuent à la sauvegarde durable de nos moyens de subsistance:

- Mise en place de zones urbaines avec de la biomasse pour minimiser les radiations et produire des masses d'air froid (évaporation active)
- Activation de la masse du sol comme réservoir d'humidité et de fraîcheur
- Minimiser la densification
- Convection (les masses d'air chaud enrichies en humidité s'élèvent verticalement et sont remplacées par de l'air plus frais)

- Assurer des couloirs aériens pour le refroidissement nocturne (entre autres, la réduction des nuits tropicales)

Ville Verte – étude approfondie 2040, Zurich

L'ombrage continu des espaces de rue avec des espèces d'arbres résistantes au climat évite le stockage de la chaleur dans les volumes des bâtiments et réduit les nuits tropicales. Les toits végétalisés permettent également d'éviter le stockage de la chaleur. De plus, l'espace routier est refroidi par évaporation active par le biais de la masse des arbres. La masse du sol est activée en collectant et en stockant l'eau du toit et l'eau de la route non contaminée dans le corps du sol comme réserve d'humidité. L'étanchéité des surfaces dans l'espace routier est réduite au strict minimum. L'eau chargée sel de déneigement est collectée et évacuée séparément dans des conduites. La pose de conduites dans les puits d'usine permet de minimiser la perte des eaux de pluie due à un déversement incontrôlé dans les tas de gravier des conduites d'usine. La fusion des eaux de pluie privées et publiques dans des infrastructures utilisées conjointement est encouragée.

La maximisation de la biomasse dans la zone urbaine permet le refroidissement grâce à sa capacité d'évaporation et favorise la convection (les masses d'air chaud sont enrichies en humidité afin qu'elles puissent être transportées verticalement et que de l'air plus frais puisse les remplacer). En outre, la production de masses d'air froid peut être davantage stimulée par une promotion ciblée d'autres espaces verts reliés entre eux, tels que les jardins publics et les communautés agricoles; ceux-ci favorisent le refroidissement nocturne et la convection.

Maître d'ouvrage: Office des constructions de la ville de Zurich

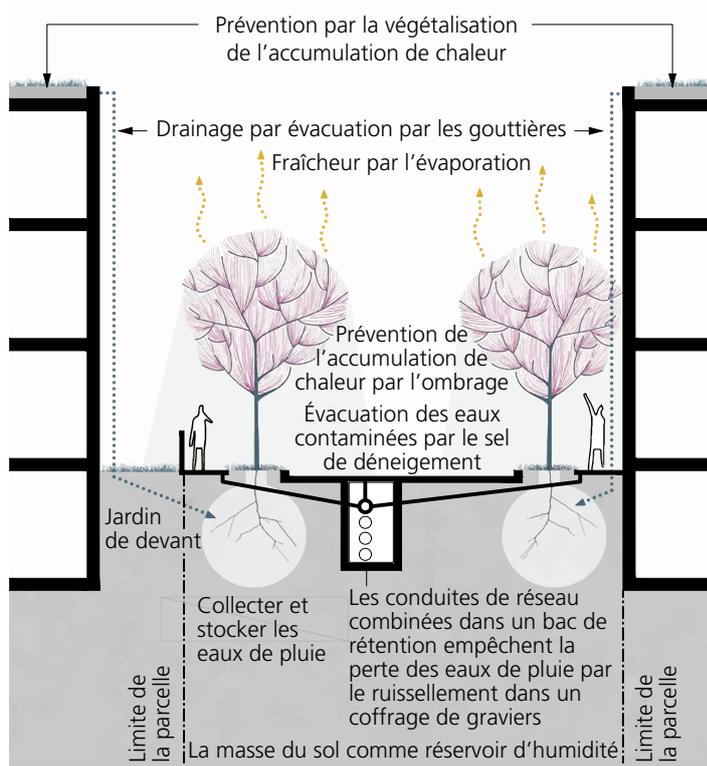
Architecte: Edelaar Mosayebi Inderbitzin Architekten AG, Zurich

Architecte paysagiste: Maurus Schifferli, Landschaftsarchitekt, Berne (auparavant 4d AG)

Étude: 2019



Illustration 13.1: Mexiko, Avenida Amsterdam – espace urbain végétalisé (en haut); Hambourg, lotissement Falkenried, Löwenstrasse – Superposition de différentes utilisations prises au niveau de la rue (en bas). (Photos: Maurus Schifferli)



**Promenade du canal, Interlaken
(zone de l'ancien abattoir)**

L'ensemble de la zone est doté d'un garage en sous-sol. La tâche consistait à amener la totalité de l'eau de pluie tombant sur la parcelle à s'infiltrer, et non à s'écouler dans la canalisation ou dans un cours d'eau récepteur. L'eau du toit est stockée dans une couche de la toiture constituée de manière extensible, avant d'être guidée par diffusion via un aqueduc dans un bac filtrant de rétention et de parvenir dans un nouveau stockage intermédiaire. Des plantes spéciales, notamment des joncs (*Juncus*) et des molinies (*Molinia*), qui supportent également une sécheresse extrême, évaporent ensuite l'eau de pluie.

Maître d'ouvrage: Baugesellschaft Kanalpromenade, Interlaken

Architecte: L2A Lengacher Althaus AG, Unterseen

Architecte paysagiste: Maurus Schifferli, Landschaftsarchitekt, Berne (auparavant 4d AG)

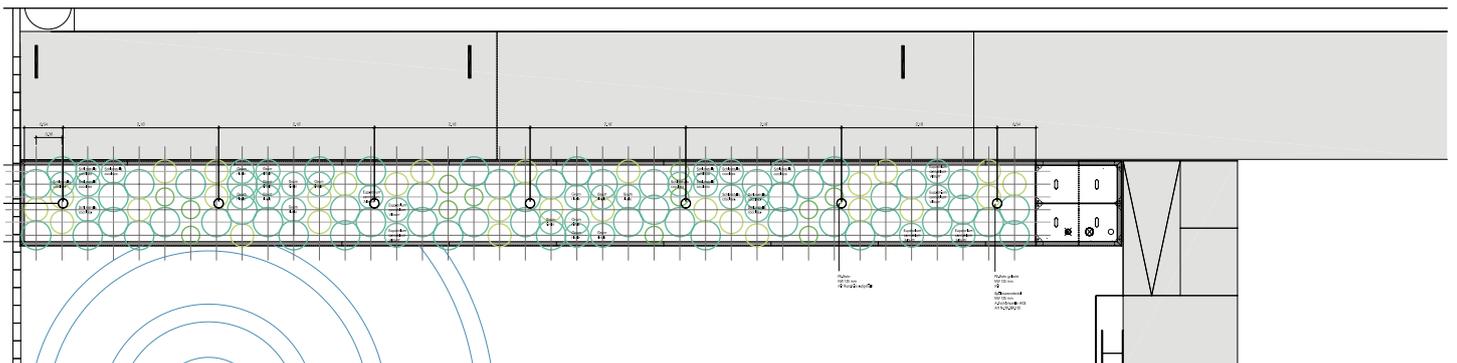
Concours: 2001

Planification et réalisation: de 2001 à 2004

*Illustration 13.2:
Bassin de filtration
et de rétention.
(Photo: Milo Keller,
Paris)*



*Illustration 13.3:
Coupe schématique.
(Plan: Maurus
Schifferli, architecte
paysager)*



Place de la gare, Büren an der Aare

L'idée de départ consistait à développer un projet économique, à la fois en termes de réalisation et en termes d'exploitation. Ainsi, l'eau du toit et l'eau du sol sont collectées, malgré un sous-sol partiellement contaminé, et sont amenées à s'infiltrer linéairement. Des cuves de rétention, plantées de molinies (*Molinia*) et de boutures de saule (*Salix*), évaporent une grande partie de l'eau de surface. Les quantités d'eau résiduelles sont purifiées et s'infiltrent diffusément sur place. Les saules sont élevés en feuillages verts et donneront bientôt un ombrage qui augmentera le confort des voitures stationnées.

Maîtres d'ouvrage: CFF SA, Commune municipale Büren an der Aare

Architecte: L2A Lengacher Althaus AG, Unterseen

Architecte paysagiste: Maurus Schifferli, Landschaftsarchitekt, Berne (auparavant 4d AG)

Planification et réalisation: de 2006 à 2009

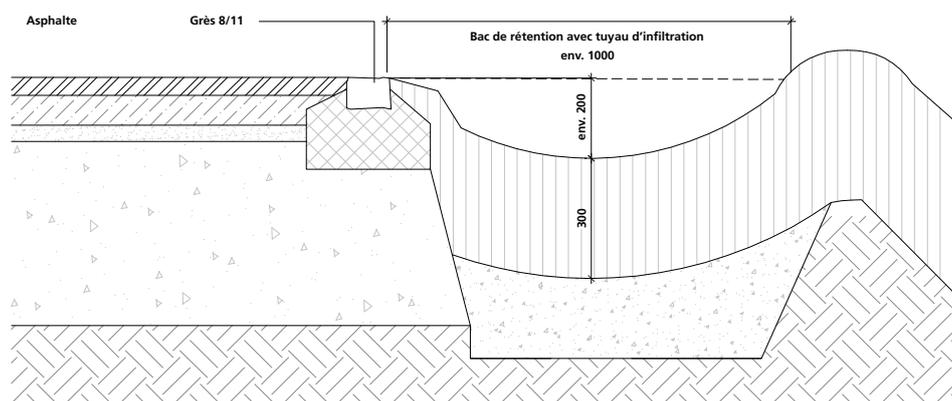


Illustration 13.4:
Bande de rétention.
(Photo: Alexander Gempeler, Berne)

Illustration 13.5:
Coupe schématique.
(Plan: Maurus Schifferli, architecte paysager)

Exemples

Violanta von Gunten	14.1 Immeuble d'habitation à Bâle Autonome et pourtant intégré	116
	14.2 Ferme Weyergut à Köniz Des logements polyvalents	120
	14.3 École enfantine Lorraine Se baser sur l'existant	124
	14.4 Filature à Freienstein Des plans flexibles	128
	14.5 Maison mitoyenne de la Birmensdorferstrasse Une mise à niveau nécessaire	134
	14.6 Tours d'habitation à Sihlweid Une rénovation clairvoyante	136
	14.7 Lotissement cité-jardin à Friesenberg Accès au jardin	142
	14.8 Centre-village de Cressier Un jeu d'harmonisation et de contraste	144
	14.9 Maison d'habitation à Lausanne Des origines mises en valeur	148
	14.10 Chesa Gabriel à Samedan Une histoire explorée en profondeur	152
	14.11 Ferme à Cavigliano Une variété d'usages	156
	14.12 Établissement scolaire à Hellmatt Conserver le matériau et la structure	160



14.1 Immeuble d'habitation à Bâle

Ce projet situé à Bâle est un bon exemple de rénovation pour expliquer les structures surélevées. Le bâtiment fait partie d'une rangée d'immeubles dans une rue étroite construite entre 1890 et 1918 à la perpendiculaire du Rhin. Bien conservés, à quelques exceptions près, les structures et le gros œuvre d'origine sont des éléments importants de la zone de protection du paysage urbain. Lors de la surélévation de l'immeuble de deux à trois étages dans les années 1970, une construction à toit plat est alors venue perturber l'homogénéité de la rangée. En créant des combles aménagés lors de la rénovation de cet immeuble, l'atteinte a pu être réparée.

Autonome et pourtant intégré

Les différentes hauteurs de construction, lignes de corniches et couleurs avec quelques règles générales contribuent à l'impression de vie et d'homogénéité qui émane de la rue. Seul l'immeuble à toit plat et balcons en saillie érigé dans les années 1970 comme construction de remplacement sortait du rang. Il abritait sept petits appartements de 2 pièces et un studio, orientés côté rue ou côté cour avec différentes utilisations de lumière naturelle et de vue. Les structures surannées et l'entretien négligé depuis la construction ont permis d'aborder différents domaines avec pour objectif une rénovation profonde, moderne et tournée vers l'avenir.

Les architectes, Simon Schudel de Bienne et Fabian Stalder de Berne, ont développé un concept de transformation. En se basant sur l'existant, ils ont réussi à donner à cet immeuble un aspect visuel à la fois autonome et intégré aux constructions environnantes. La surélévation avec lucarnes, la prise en compte de la hauteur de façade, la transformation des balcons côté rue en balcons à la française et la délimitation locale de l'espace de la rue renforcent l'intégration typologique.

Un aménagement intérieur moderne

À l'intérieur, la structure cloisonnée de l'immeuble a été transformée en appartements dotés d'un espace séjour, salle à manger, cuisine ouverte et une ou deux chambres. Les logements bénéficient, par conséquent, d'espaces traversants entre la rue résidentielle et la paisible cour intérieure. L'ajout de loggias sur les balcons côté cour a permis l'exposition des locaux profonds et un agrandissement de l'espace. Le loft dans la surélévation se compose d'un espace entrée, salle à manger, cuisine et bureau aux larges surfaces vitrées côté cour et donnant sur une terrasse, et un séjour et chambre à coucher côté rue, éclairé par des lucarnes. Pour ne pas rompre l'alignement historique, l'immeuble a fait l'objet d'une rénovation énergétique avec une isolation thermique intérieure. Le chauffage à mazout a été remplacé par un chauffage à gaz avec apports de capteurs solaires. Une aération douce simple et des matériaux naturels de haute qualité assurent un climat ambiant agréable et écologique. L'eau de pluie est retenue par la végétalisation extensive du toit plat et réintègre le circuit naturel par le biais de l'infiltration.



Coupe schématique, état neuf

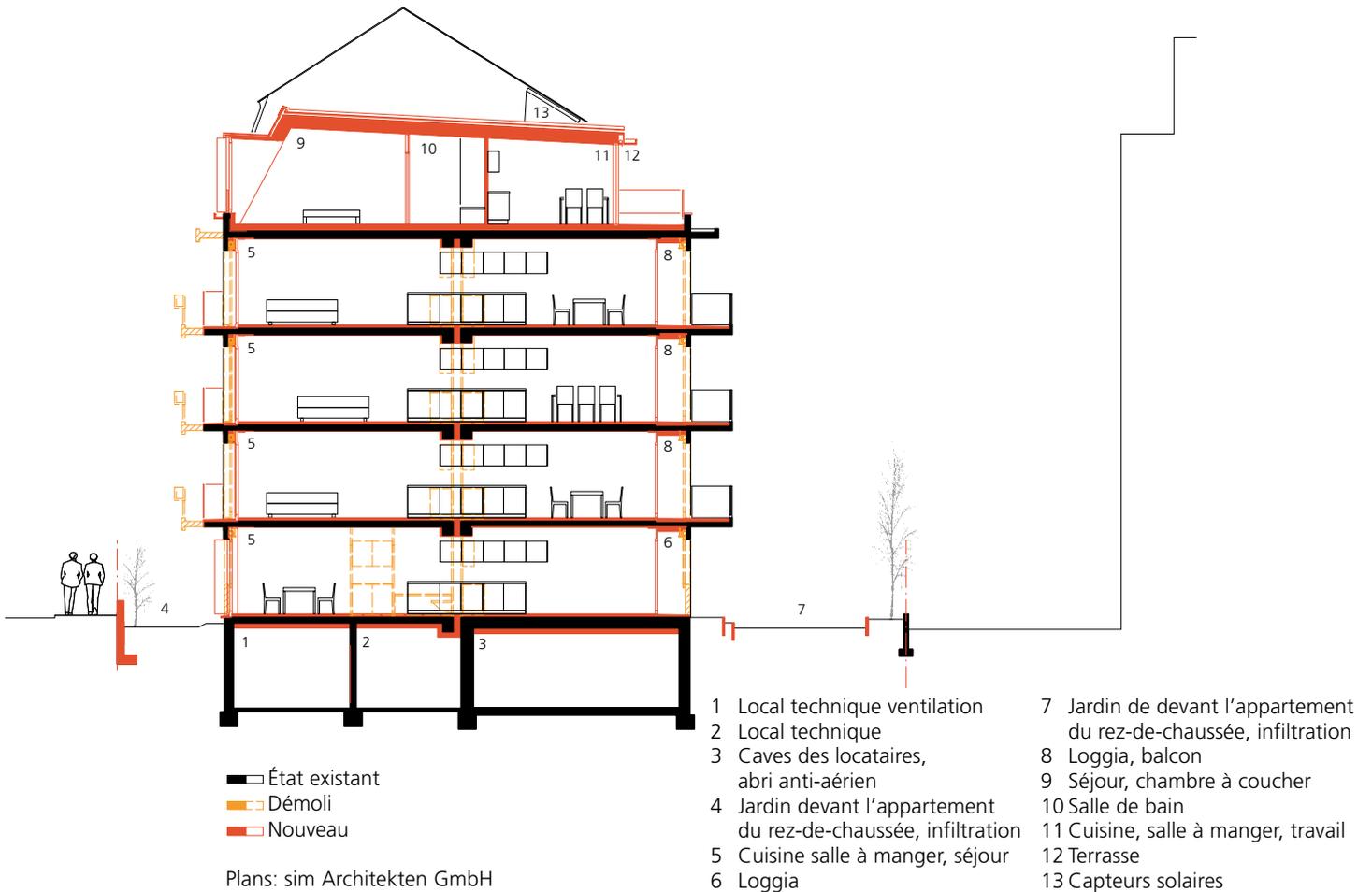


Coupe schématique, état actuel

Avec les nouveaux combles, le bâtiment assaini correspond à nouveau à la structure de la rangée de maisons. (Photo: Remo Zehnder)

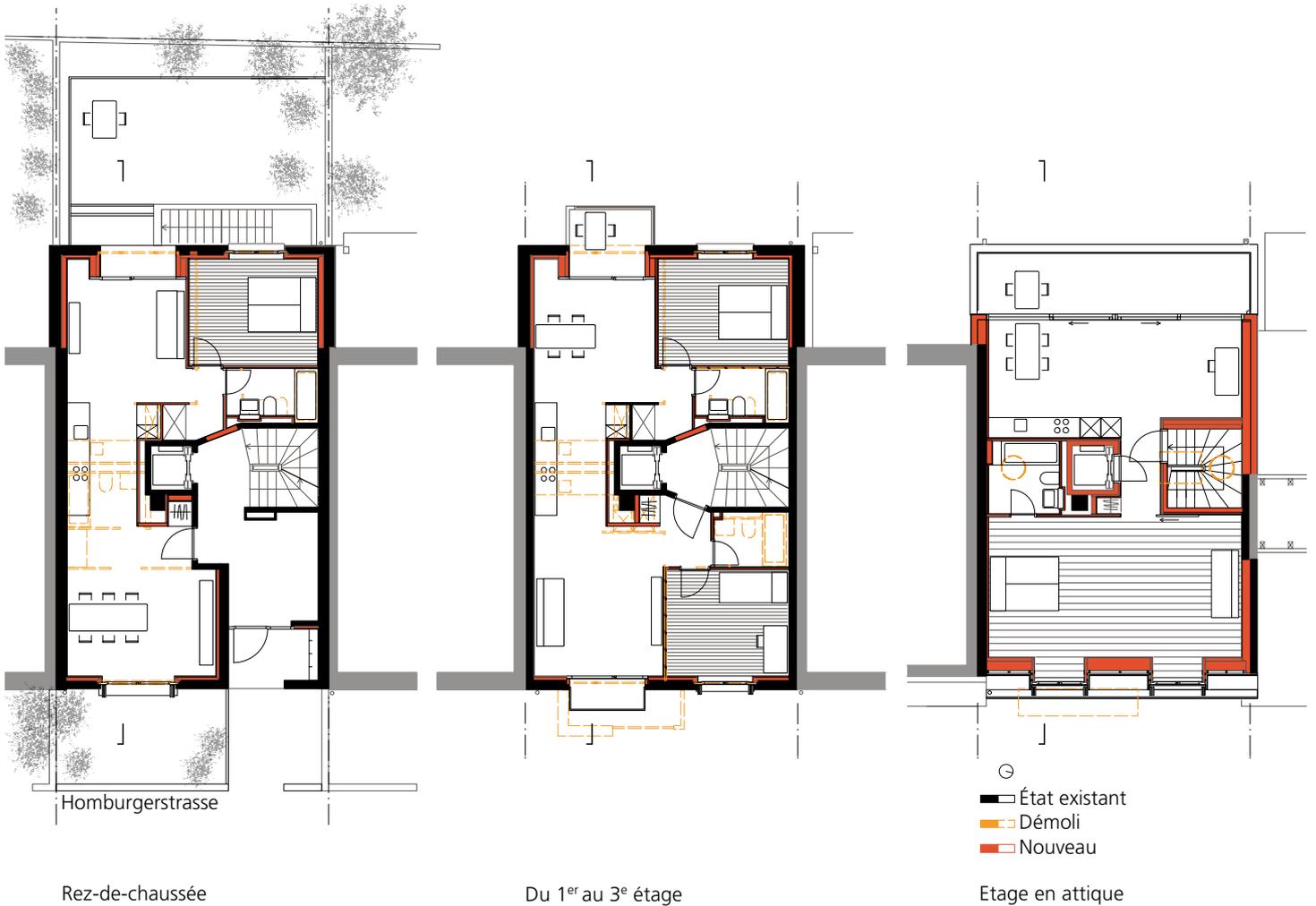


Le bâtiment avant et après la rénovation. (Photos: sim Architekten et Remo Zehnder)





Les appartements sont devenus plus lumineux et plus spacieux. (Photos: Remo Zehnder)





14.2 Ferme Weyergut à Köniz

Weyergut se situe dans la partie rurale de la commune de Köniz, à proximité de l'Aar, sur un terrain en pente douce. La propriété date du 16^e siècle. L'ensemble architectural classé monument historique est composé de la ferme profondément modifiée en 1842 et de plusieurs bâtiments, tels qu'une maison de maître, l'ancienne bâtisse de fours transformés en Stöckli au 19^e siècle, une grange indépendante, un poulailler et un rucher ainsi qu'une fontaine à l'ombre d'un tilleul dans la cour. La ferme était inhabitée depuis des années quand plusieurs investisseurs immobiliers se réunirent en vue de transformer une partie des bâtiments en habitations durables. De l'idée à la réalisation, il s'est écoulé un long processus de planification et de construction, incluant les négociations avec le propriétaire, le service des monuments historiques et d'autres autorités. La ferme se trouvant en zone agricole, le changement d'affectation à des fins d'habitation n'a été possible que dans le respect de conditions strictes.

Une intimité préservée

Architecte et co-initiateur du projet, Peter Schürch a développé l'intégralité du concept de construction avec son bureau «Halle 58 Architekten». La ferme, la grange et la grange transversale ont pu accueillir neuf logements de différentes tailles sur trois étages au maximum. La souplesse de l'espace proposé avec des appartements, un espace collectif, des granges et divers espaces intérieurs et ex-

térieurs communs permet de créer un petit microcosme qui demande également l'implication des habitants. Pour le moment, les autres bâtiments préservés de l'ensemble ne peuvent être utilisés que pour le stockage ou éventuellement pour l'élevage. Cela a permis de conserver le caractère de la ferme Weyergut et de redonner vie au lieu.

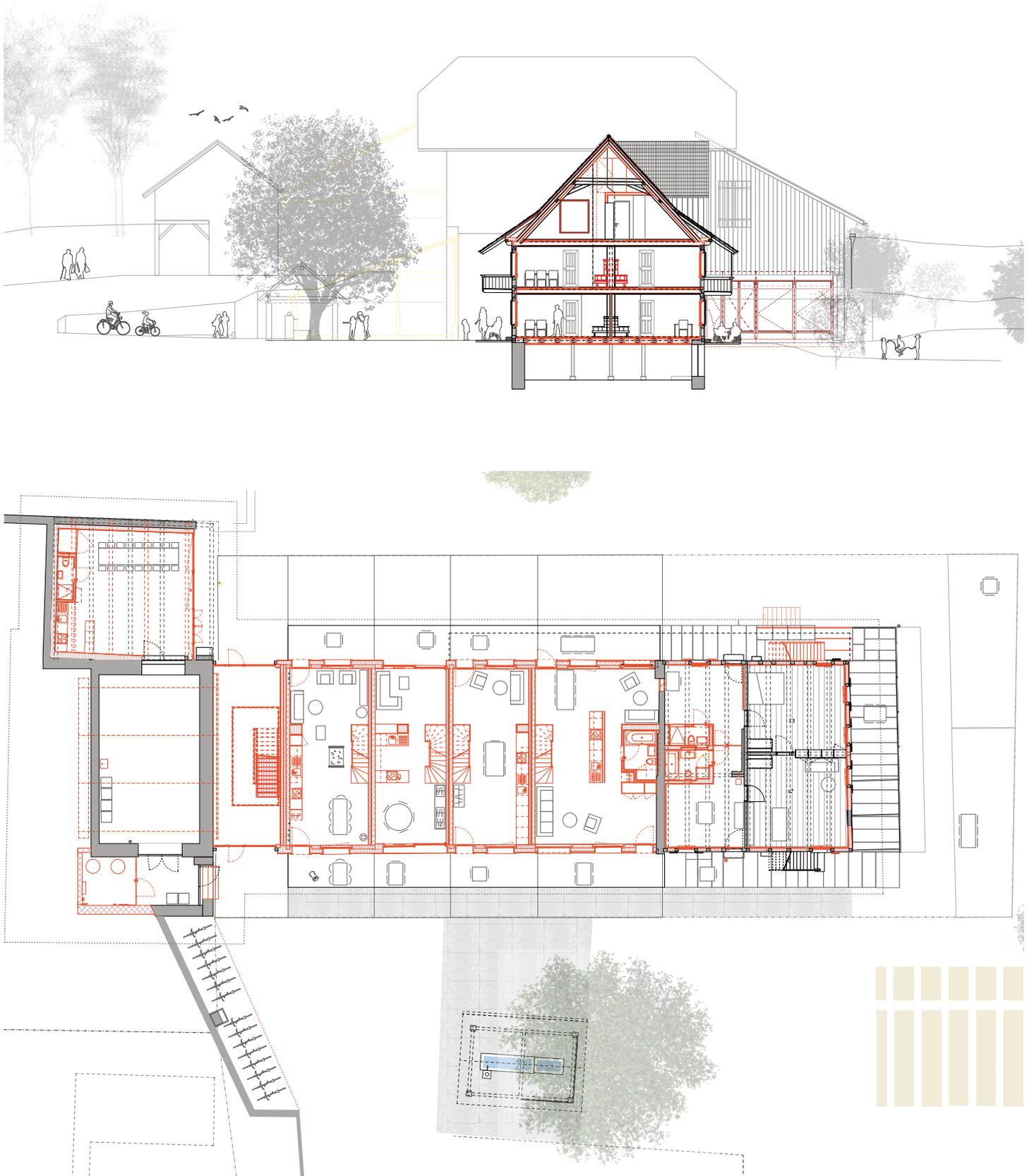
Concilier habitat et patrimoine

L'enveloppe du bâtiment à isolation en fibres de bois, les fenêtres en bois hautement isolantes et un concept d'isolation compensatrice pour les éléments de construction en contact avec la terre et les parties du socle ont permis d'atteindre les objectifs fixés par le «CECB A». Outre le bois massif et les matériaux à base de bois, un soin tout particulier a été accordé au choix de tous les autres matériaux de construction, dans le respect de critères écologiques et nécessitant le moins d'énergie grise possible. Les logements séduisent non pas par leurs matériaux coûteux mais par la qualité de l'espace. La consommation d'énergie fortement réduite est couverte par une installation photovoltaïque couleur terre cuite intégrée à la toiture et une pompe à chaleur avec sondes géothermiques. Une aération douce individuelle avec chauffage de sol garantit une qualité de l'air optimale sans système de chauffage traditionnel et une faible consommation d'énergie.

Avec ses nombreux angles et passages étroits pour les souris, les guêpes, les fourmilions et les oiseaux, l'enveloppe du bâtiment existante tient compte de la biodiversité. De nouveaux nichoirs ont été installés pour les martinets noirs. L'aspect écologique de l'environnement est également mis en valeur par l'aménagement naturel de l'espace extérieur et notamment par la création d'un nouvel étang et d'un potager. Tous les logements disposent d'un accès à l'espace extérieur commun et d'espaces-jardin privés. Le jardin et la grande cour ornée d'une fontaine et d'un tilleul sont de parfaits lieux de vie pour les petits et les grands, propices au jardinage, à la détente et aux jeux.



*Après un processus de planification intensif et de nombreuses négociations, le Weyergut brille d'une nouvelle splendeur.
(Photo: Christine Blaser)*



Coupe transversale de l'ancienne partie résidentielle et plan du rez-de-chaussée. (Plans: Halle 58 Architekten GmbH)



Une aire de jeux unique pour les enfants sous une impressionnante construction en poutres. (Photo: Christine Blaser)



Après des années d'inoccupation, le Weyergut offre aujourd'hui un espace de vie moderne répondant à différentes exigences. (Photo: Christine Blaser)



14.3 École enfantine Lorraine

À Berne, le quartier Lorraine, en bordure de la ligne de chemin de fer et sur le coteau escarpé de l'Aar, compte un ensemble de maisons très simples vouées à l'artisanat construites par des charpentiers vers 1870. Depuis plusieurs décennies, les bâtiments servent de garderies d'enfants et d'école enfantine à la ville de Berne. Suite à un dégât des eaux en 2009, la maison sise au n° 41 de la Lorrainestrasse, qui était à l'époque une maison artisanale d'un maître menuisier, a dû être fermée. La ville organisa un concours avec préqualification sans déterminer si les bâtiments mentionnés dans le recensement architectural devaient être conservés ou non.

Se baser sur l'existant

Les bureaux d'architectes Freiluf et Feissli Gerber Liebendörfer proposèrent ensemble de conserver et de rénover les deux immeubles délabrés. Leur idée de revaloriser et de rénover les structures existantes a séduit le jury. Les architectes ont reconnu la valeur des structures existantes, compactes, de petites dimensions et pleines de charme. Ils estimaient qu'une nouvelle construction ne pouvait pas satisfaire ces qualités. Dans la plus grande des deux bâtisses allaient être logées la crèche et l'école enfantine, la plus petite étant destinée aux plus grands. Un heureux hasard a voulu que ces affectations allaient bien s'intégrer dans les structures existantes. Le caractère des maisons et leur environnement a ainsi pu être préservé.

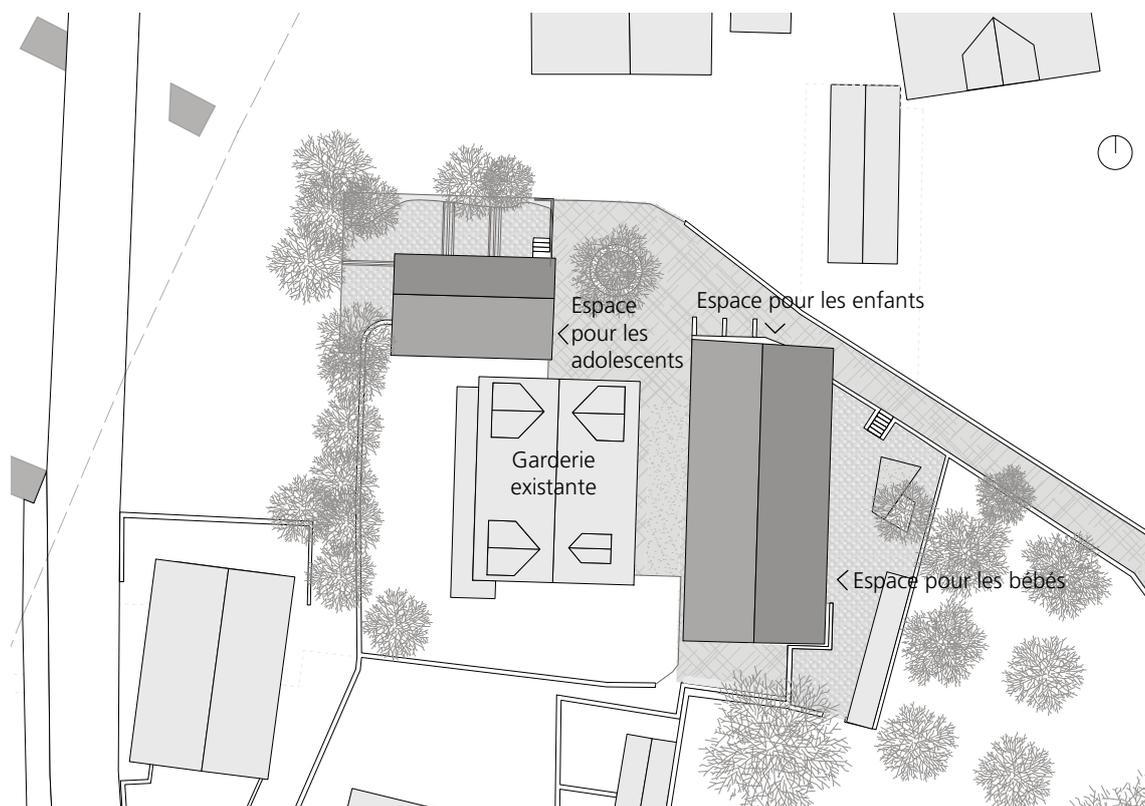
Quand les édifices orientent les choix de rénovation

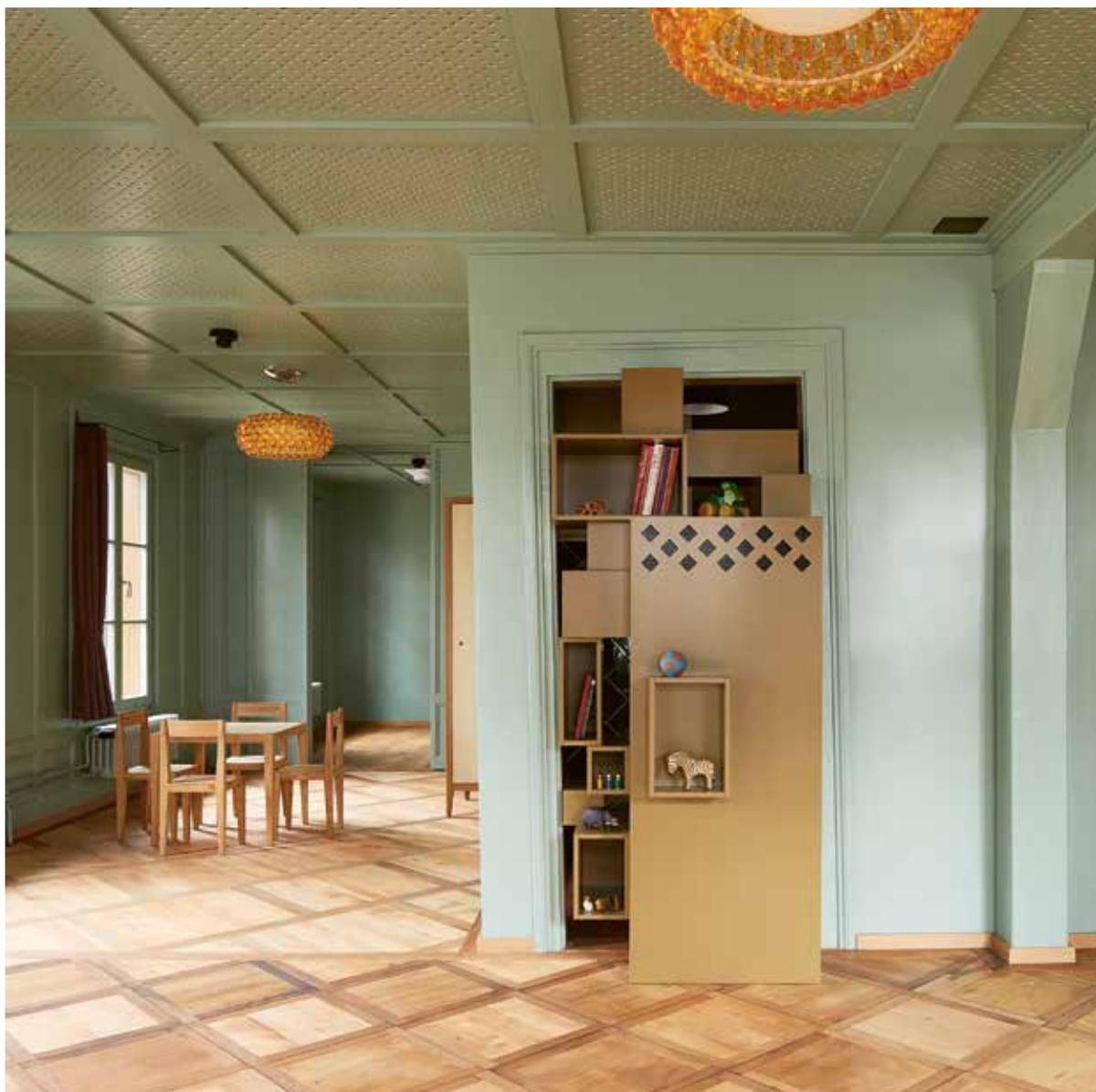
Les travaux de déconstruction ont pris des allures de chasse au trésor puisqu'ils ont permis de mettre à jour, sous de nombreuses couches de revêtement, des lambris et des parquets remarquables, bien conservés. Malheureusement, le gros œuvre s'est avéré très médiocre par endroits: l'étage qui abritait les ateliers a dû être rénové et a reçu de nouvelles finitions intérieures en bois d'épicéa brut. Les sols et les murs ont été parés de plaques à efficacité statique afin d'atteindre les exigences de résistance sismique.

Pour améliorer l'acoustique intérieure, des spécialistes ont installé des panneaux de plafond perforés et isolés par l'arrière, arborant également un bel aspect esthétique. Le remplissage du colombage a été retiré et remplacé par un isolant en fibres de cellulose. En façade, les bardeaux d'Eternit ont été remplacés par des tavillons en bois traditionnels. Le résultat de la rénovation traduit la passion avec laquelle elle a été réalisée. Et même si, finalement, de nombreux éléments ont dû être remplacés et refaits à neuf, les enfants bénéficient désormais de locaux uniques en leur genre, aux allures de petit paradis.



Anciennes maisons d'artisans comme garderie pour les enfants: une idylle dans le quartier bernois de Lorraine. (Photo: David Aebi)

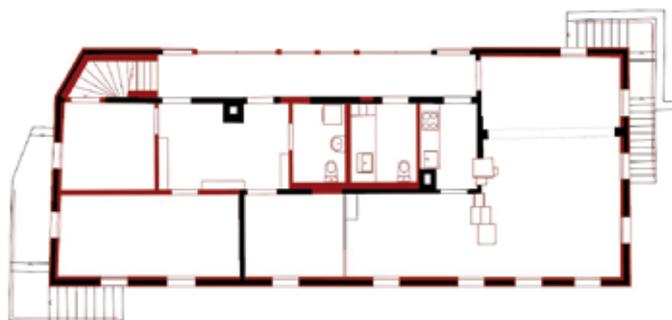




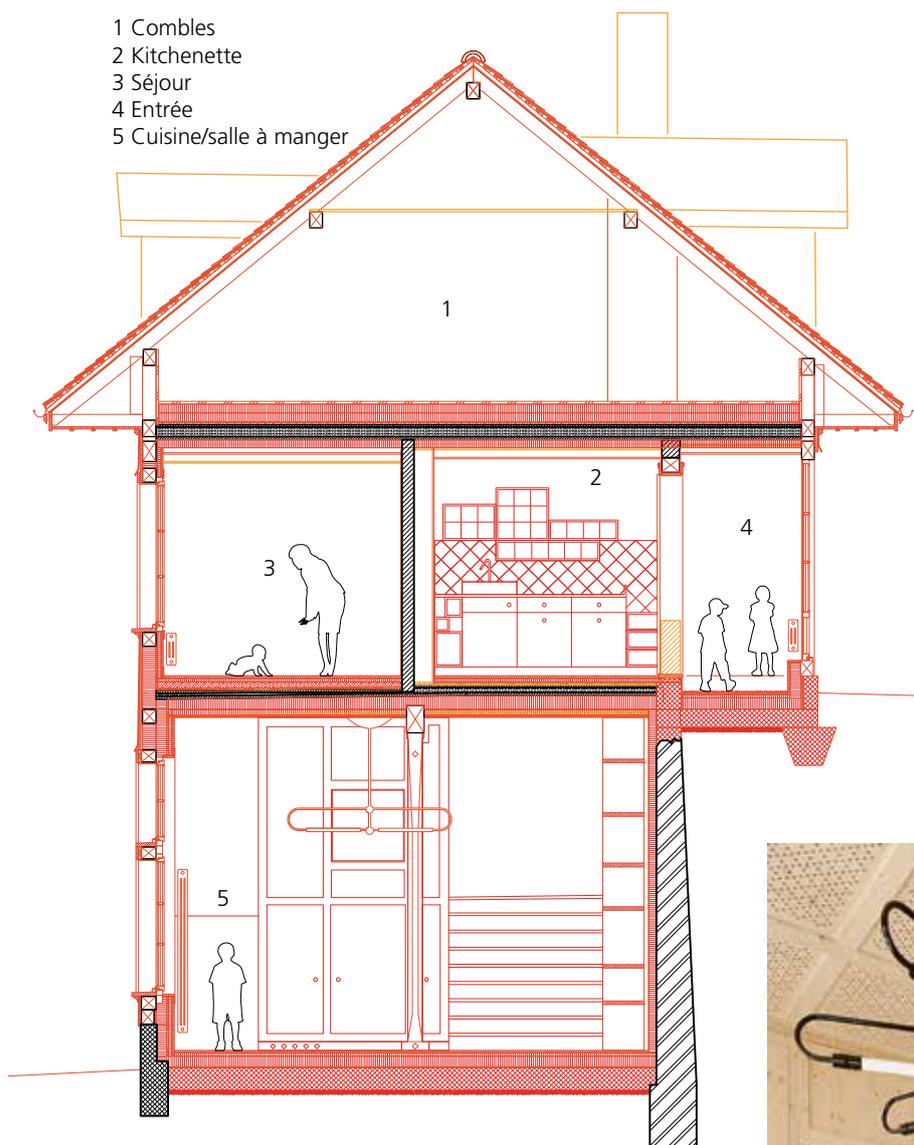
Le parquet traditionnel interagit parfaitement avec l'intérieur en bois d'épicéa, qui se compose d'éléments neufs et anciens. (Photo: David Aebi)



*Plan de l'étage supérieur actuel.
(Plans: Freiluft Architekten / FGL Architekten)*



Plan de l'étage supérieur après rénovation.



Les éléments spéciaux du plafond améliorent l'acoustique de la pièce, de sorte que les enfants peuvent être parfois un peu plus bruyants. (Photo: David Aebi)



14.4 Filature à Freienstein

En 1837, une première filature fut construite à Freienstein, au fond de la vallée de la Töss. Pendant ses décennies de prospérité, elle employait près de 1000 ouvriers. Conséquence de la mondialisation, la production de la société Blumer Söhne + Cie a dû être arrêtée en 1990. Depuis, les nombreux bâtiments de cette zone industrielle de près de 50 000 m² ont été transformés en ateliers, regroupent des offres culturelles ou sont destinés à d'autres utilisations. 20 années se sont écoulées avant que les locaux chargés d'histoire du bâtiment principal reprennent vie. Le plan d'affectation de 2008 a permis de transformer plus de 6000 m² de surface d'étages en espaces d'habitation et de travail.

Des plans flexibles

En 2014, 23 lofts certifiés Minergie, 5 unités commerciales et 12 ateliers ont pu être occupés. La prochaine étape de construction prévoit de créer un espace collectif dans l'ancienne salle des turbines. Le bureau d'architectes moos. giuliani. herrmann. architekten. a élaboré un projet de changement d'affectation du bâtiment très convaincant, alliant conservation de la substance historique et solutions d'habitat résidentiel originales et audacieuses. Le défi majeur consistait à concevoir des plans de loft d'une grande flexibilité, à la fois conformes aux exigences techniques et légales actuelles et conservant le caractère de bâtiment protégé de l'usine.

L'aménagement a été conçu de manière optimale de façon à ce que trois couloirs de 50 m de long au sous-sol, au 1^{er} et au 4^e étage desservent sur la longueur les appartements en duplex agencés de différentes manières. Inspiré des unités d'habitation de Le Corbusier, ce principe permet de profiter des dimensions d'origine de l'espace. À chaque étage, les appartements bénéficient de l'orientation est-ouest et de l'incroyable profondeur de 19 m. Ceci a également permis d'ajouter un balcon en acier, indépendant et démontable, sur la façade Est uniquement. L'accès par le parapet a permis de garder la façade historique intacte.

Le charme de l'ancien préservé

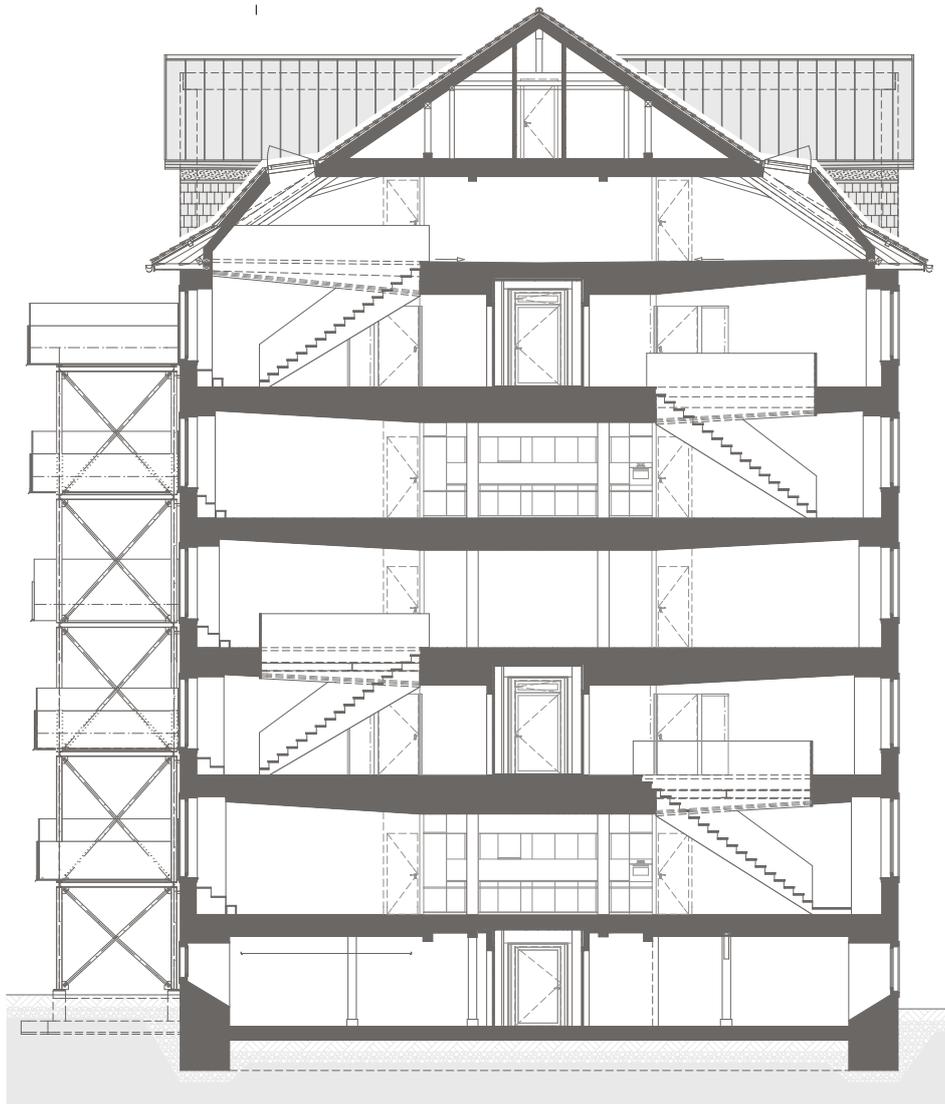
Le regroupement des cellules humides, des cuisines et des blocs techniques a permis de créer une surface habitable généreuse, d'utilisation flexible. Une structure porteuse secondaire a été nécessaire pour optimiser les portées. Dotée d'un revêtement intégral, elle a permis de satisfaire les exigences de protection incendie et d'exposer la structure porteuse en bois historique. Les fenêtres d'origine ont été doublées d'un vitrage isolant en verre étiré et les ferrures réutilisées pour rappeler le charme de l'ancien. Les mesures d'isolation thermique appliquées aux fenêtres, aux surfaces de toit et aux dalles compensent la non isolation des murs extérieurs massifs. L'aération douce réduit les déperditions de chaleur et protège l'édifice des dommages. Le concept de couleurs a repris les anciens coloris et met en avant les éléments de construction neufs avec des coloris atténués. Résultat: un habitat industriel qui met en valeur l'existant et lui ajoute de la modernité.



La filature apparaît comme un bâtiment contemporain qui rend également hommage à son histoire. (Photo: Beat Bühler)



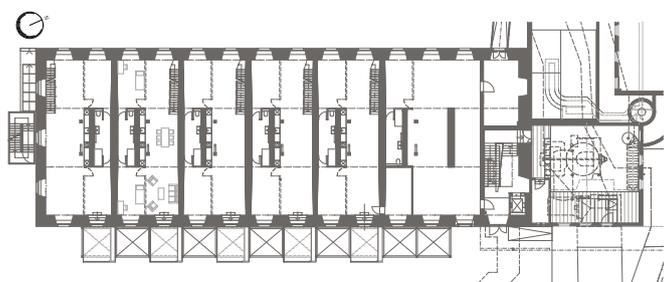
*Le passé industriel
est encore visible
sur le site. (Photo:
Beat Bühler)*



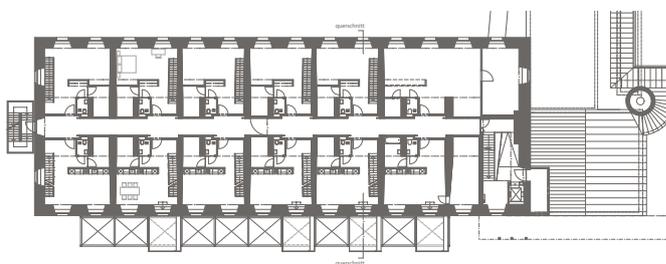
*Plans: moos.
giuliani. herrmann.
architekten.*



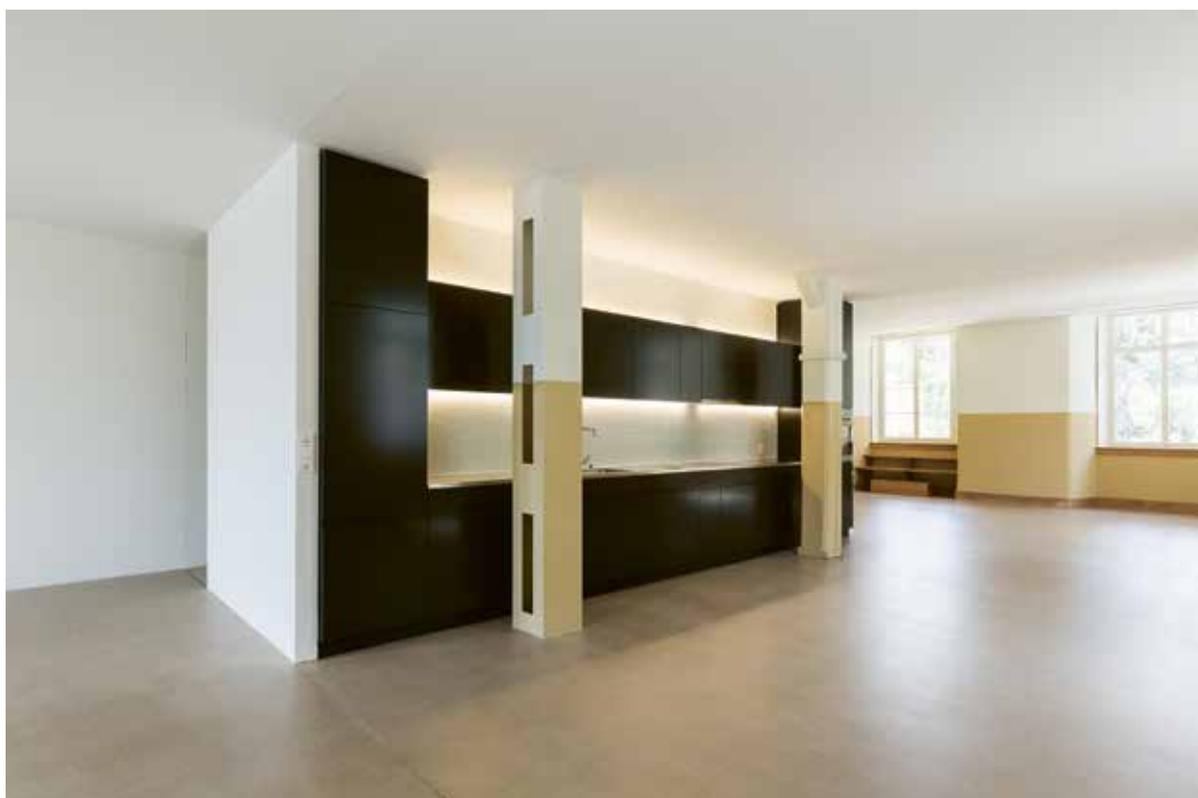
Les murs massifs en pierre et la construction en vieilles poutres confèrent aux pièces un caractère unique.



Plan du rez-de-chaussée



Plan du 1^{er} étage



*Des appartements confortables sont désormais disponibles dans l'ancienne filature.
(Photos: Beat Bühler)*



14.5 Maison mitoyenne de la Birmensdorferstrasse

Transformer un bâtiment implique de le modifier – on agrandit, on supprime, on rehausse, on rénove et on réaffecte. On rencontre alors des dommages et des fissures. Au lieu de dissimuler ces traces de la transformation par des retouches, le bureau d'architectes Baubüro in situ a choisi de les intégrer naturellement dans le concept global. Les jonctions sont tout simplement peintes, enduites de ciment ou laissées telles quelles: la transformation du gros œuvre reste visible.

Amélioration nécessaire

Construite à Zurich en 1949, entre Wiedikon et Albisrieden, la maison mitoyenne disposait d'une modeste surface habitable de 80 m². Faiblement entretenus depuis la construction, de nombreux éléments étaient en fin de vie, voire pour certains en mauvais état. La transformation intégrale a pu être réalisée en deux étapes. Le sous-sol a été amélioré en termes de statique, afin de libérer le rez-de-chaussée pour accueillir un séjour avec coin cuisine. De même, au premier étage, une réorganisation du plan d'étage a permis d'agrandir les pièces. Une chambre de 9 m² a ainsi bénéficié d'un agrandissement et peut, à présent, servir de chambre familiale avec bureau.

Surélévation avec éléments en bois

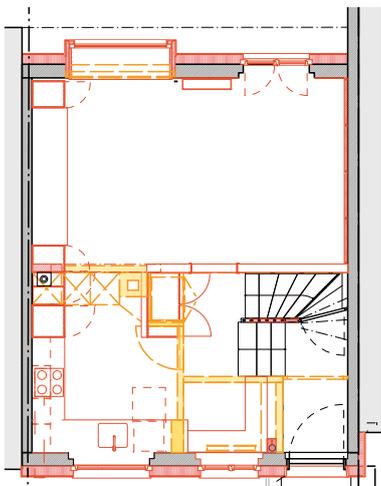
Dans un deuxième temps, le bâtiment a été rehaussé d'un étage avec des éléments en bois, offrant désormais à la famille une surface habitable de 120 m² au total. L'accessibilité uniquement piétonne de la maison mitoyenne par la Birmensdorferstrasse a représenté un défi logistique. La planification précise et la construction à partir d'éléments en bois ont permis de réaliser la surélévation en une journée à l'aide d'une grue de 45 m. Des matériaux naturels, durables et de haute qualité ont été utilisés. L'isolation en fibre de bois de 20 cm d'épaisseur de la façade existante et le remplacement des fenêtres contribuent à réduire considérablement les besoins de chaleur pour le chauffage. Ainsi, trois radiateurs récupérés de l'existant suffisent pour chauffer l'intégralité du volume, même pendant les mois d'hiver particulièrement froids. Pour des raisons de rentabilité et d'efficacité, la maison ne dispose pas d'installation photovoltaïque. L'électricité solaire est néanmoins fournie par une coopérative zurichoise. Grâce à la maçonnerie existante habillée de panneaux en fibre de bois, la température intérieure reste fraîche quand le mercure grimpe en été. Par ailleurs, le refroidissement nocturne est activement renforcé par les deux fenêtres en toiture.



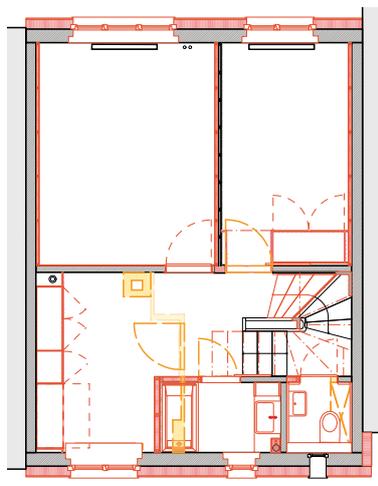
Une grue à flèche de 45 mètres a été utilisée pour les travaux de transformation car le bâtiment n'est accessible qu'à pied. (Photo: Martin Zeller)



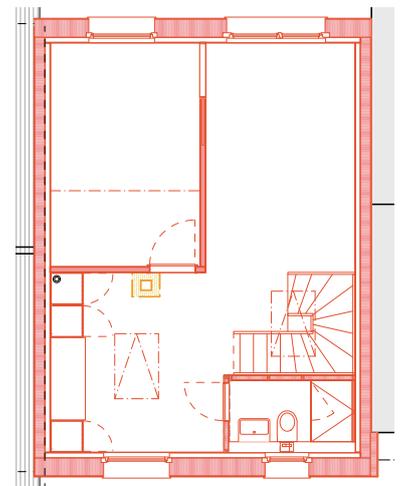
Les éléments modernes ont été combinés avec la substance existante de manière détendue.
(Photo: Martin Zeller)



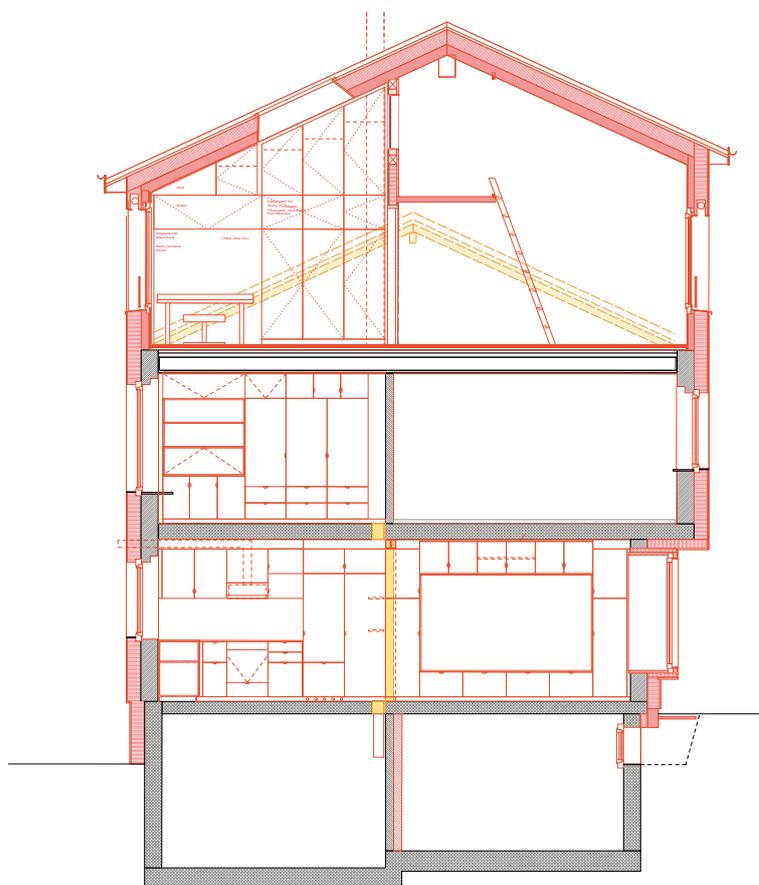
Rez-de-chaussée



Étage supérieur



Dernier étage



Grâce aux nouvelles fenêtres, les besoins en chauffage ont été réduits à un point tel que trois radiateurs du bâtiment existant suffisent pour le chauffage. (Photos: Martin Zeller)





14.6 Tours d'habitation à Sihlweid

Construites dans les années 1970, les deux tours d'habitation façonnent l'image du quartier de Leimbach à Zurich. Depuis 2013, elles ne ressemblent plus à de grands immeubles préfabriqués gris, mais disposent d'un habillage moderne en façade qui leur permet de capter l'énergie du soleil. Au moment de la transformation, les façades recouvertes de modules photovoltaïques à couche mince faisaient partie des plus grandes au monde et ont transformé ces gouffres à énergie en centrales solaires. Aujourd'hui, les deux tours d'habitation répondent aux exigences de la société à 2000 watts. Cela signifie une consommation d'énergie en moyenne trois fois plus faible pour l'exploitation des bâtiments – un objectif visé par la ville de Zurich depuis une votation en novembre 2008.

Une rénovation clairvoyante

Avant la transformation, les tours d'habitation non étanches et très mal isolées présentaient un mauvais bilan énergétique, les charges étaient donc élevées. La cage d'escalier était ouverte sur les 17, respectivement 19 étages et les courants d'air permanents. La propriétaire, la coopérative immobilière Zurlinden, planifie et gère ses biens de manière prévoyante selon le principe du développement durable. Pour procéder à la transformation, elle s'est fixé des objectifs élevés. La rénovation devait être exécutée conformément à l'outil de

planification «Voie SIA vers l'efficacité énergétique» et être compatible avec la Société à 2000 watts. Avant la planification effective, un expert en énergie a été mandaté pour mettre en évidence le potentiel de la rénovation énergétique. Ce travail a servi de base pour les premières études des architectes du bureau Harder Haas Partner.

Un aménagement intérieur neuf

En tenant compte des points faibles et des réserves d'utilisation en droit de la construction, les architectes ont développé un concept pour la réorganisation des plans d'étage. Les anciens balcons d'angle ont été transformés en séjour, accueillant ainsi un vaste coin à manger bénéficiant d'une vue exceptionnelle. Cela a permis de créer un périmètre d'isolation compact incluant également la cage d'escalier. Les balcons ont aussi bénéficié de cette réorganisation. Ils ont été agrandis et disposés à un emplacement mieux protégé. De plus, les petits appartements disposent désormais aussi d'un balcon. Les 170 appartements ont ainsi bénéficié d'un aménagement intérieur de qualité, entièrement neuf.

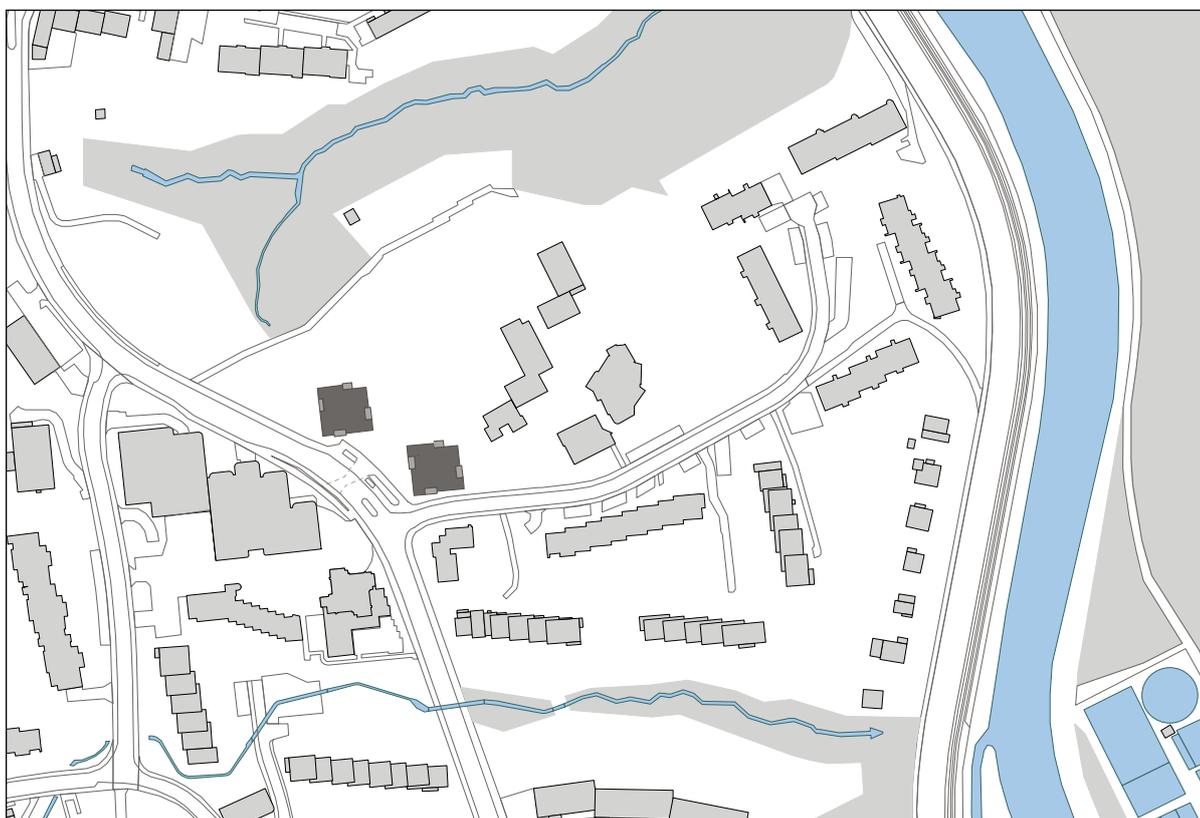
Intégration de tous les aspects importants

Sur le plan de la conception extérieure, les panneaux photovoltaïques ont eu une influence déterminante sur l'aspect global. Les architectes ont utilisé des panneaux standard en adaptant les proportions des champs et les détails des joints à l'ensemble de la composition.

Les habitants ont été informés des travaux suffisamment à l'avance par la coopérative immobilière et ont pu rester dans les tours pendant la transformation. La hausse modérée des loyers, le gain d'espace et l'amélioration de la qualité de vie ont convaincu de nombreux habitants de rester dans la tour d'habitation. Outre l'aspect énergétique, ce projet-phare a su remarquablement associer les aspects économiques, sociaux et architecturaux.



Les deux immeubles remarquables n'apparaissent plus en gris, mais avec une élégante façade de panneaux photovoltaïques. (Photo: Zeljko Gataric)





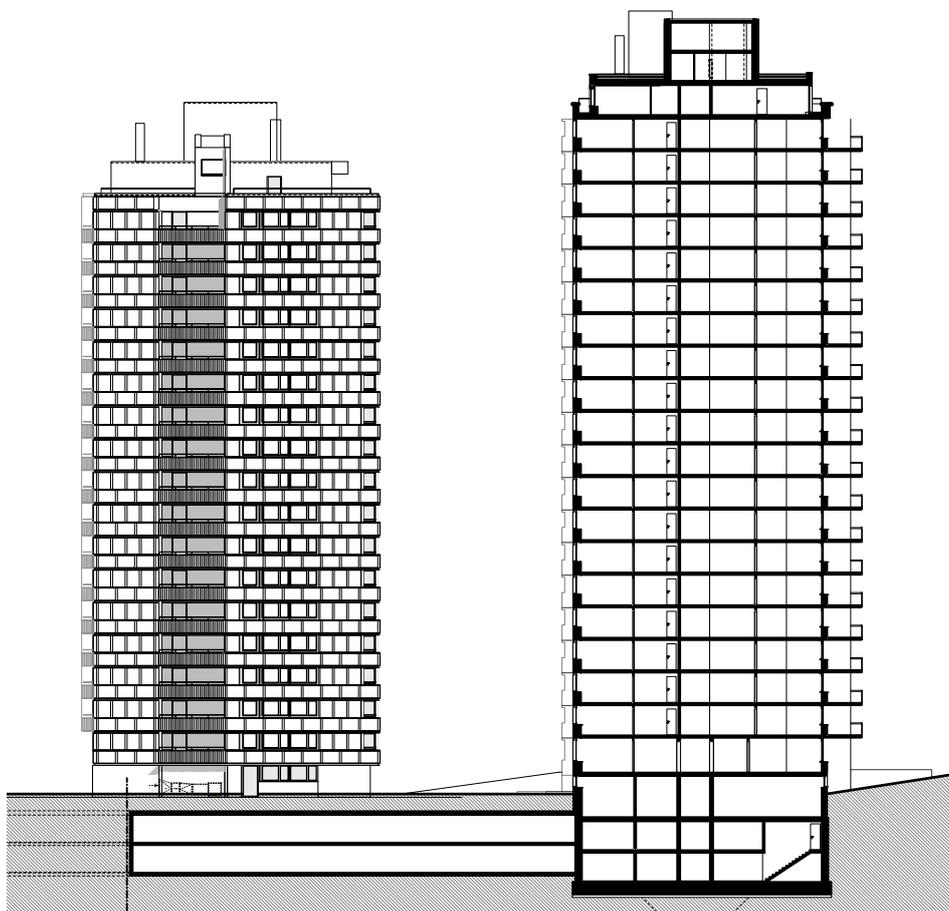
*Plan.
En gris: existant, en
vert: agrandisse-
ment (cuisine et
balcon), en bleu:
transformation.*



*Lumineux et mo-
dernes, avec une
vue imprenable, les
immeubles offrent
un espace de vie at-
trayant. (Photo:
Harder Haas P. AG)*



La façade photovoltaïque ne génère pas seulement de l'énergie, mais apporte également une amélioration visuelle significative. (Photo: Harder Haas P. AG)





14.7 Lotissement cité-jardin à Friesenberg

La coopérative d'habitation Familienheim-Genossenschaft Zürich (FGZ) fut fondée en 1924 dans l'optique de créer un habitat de qualité pour les familles. Sur le modèle de la cité-jardin anglaise, des lotissements intégrés avec soins à la topographie des lieux furent créés par tranches dans le quartier zurichois de Friesenberg à partir de 1925. La tranche n° 14 située Bernhard-Jaeggi-Weg fut réalisée en 1945 pendant la guerre. Elle se compose de 14 rangées de maisons mitoyennes et d'autres affectations, tels qu'un double jardin d'enfants et un local associatif. Les 128 maisons individuelles mitoyennes possèdent de 3 à 5 chambres et un jardin privatif.

Concilier conservation et rénovation

La dernière rénovation approfondie des bâtiments intervint en 1983. En 1993, on procéda à l'installation de nouvelles fenêtres et à l'isolation thermique de toutes les toitures et avec en partie aménagement en salles de séjour. Des études montrèrent que le gros œuvre était en bon état et qu'il pouvait être remis en état, dans le respect des ressources, pour 25 années supplémentaires. Afin que les familles bénéficient toujours d'un habitat avantageux, la FGZ veille à réaliser des investissements modérés et ciblés dans la rénovation des bâtiments anciens. Un équilibre doit être trouvé entre les différents aspects

de la durabilité comme la qualité de vie, l'attrait locatif, le bilan énergétique et les loyers.

Accès au jardin

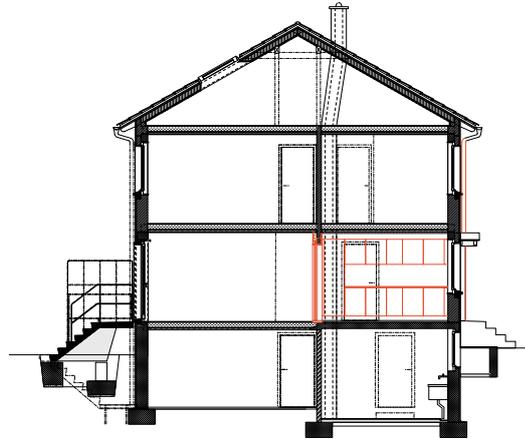
Après une procédure de concours qui exigeait de présenter la mise en œuvre de la rénovation définie par la FGZ, la planification et l'exécution des travaux de rénovation et de transformation furent confiées au bureau d'architectes Hopf & Wirth Architekten à Winterthur en collaboration avec Thomet Partner AG (direction des travaux). Il s'avéra que les plans d'étage étaient judicieusement proportionnés et qu'ils garantissaient une haute qualité de vie, correspondant aux besoins actuels. Certains détails datant de l'époque de la construction, tels que le banc du poêle en faïence le long du séjour ou les aménagements très pratiques en bois dans le couloir, enrichissent aujourd'hui encore ces maisons d'une grande simplicité. La cuisine est ouverte sur le séjour et pourvue d'une porte coulissante. Une nouvelle porte mène directement dans le jardin. Le parapet de l'escalier sert de treillis pour les plantes grimpantes tout en délimitant l'espace avec le voisinage.

Réseau de chaleur planifié

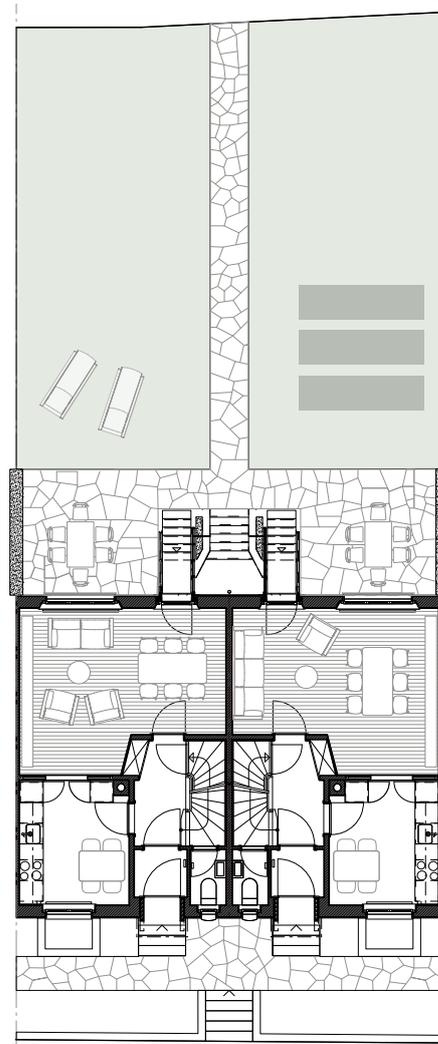
Les canalisations ont également dû être remplacées. Les cuisines, salles de bain et toutes les surfaces ont été rénovées et désamiantées. L'ajout d'un radiateur dans les combles aménagés a permis une meilleure répartition de l'énergie et d'atténuer les points faibles sur le plan de la physique du bâtiment. Les maisons sont restées habitées pendant toute la durée de la rénovation, à l'exception des quelques jours consacrés aux travaux de désamiantage. Les architectes ont fait preuve d'autant de précautions et de pragmatisme pour rénover la tranche n° 13, ce qui permet de conserver le charme et la mixité sociale de ces lotissements.

D'ici à 2050, un nouveau concept d'approvisionnement en chaleur à distance doit permettre de chauffer les lotissements de FGZ à Friesenberg avec les rejets ther-

miques issus des bâtiments industriels environnants. Une première étape du réseau d'énergie a déjà été réalisée. Les rejets thermiques sont stockés dans d'immenses accumulateurs souterrains et atteignent les températures requises à l'aide de pompes à chaleur. Celles-ci sont alimentées en électricité produite par les installations photovoltaïques communes.

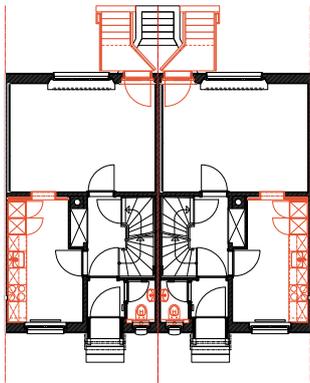


La balustrade du nouvel escalier menant au jardin sert également de tuteur pour les plantes. (Photo: Hopf & Wirth Architekten)

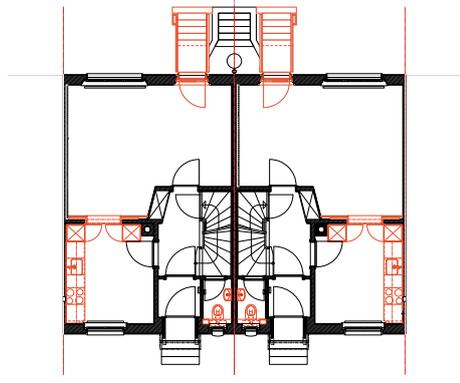


Plan du rez-de-chaussée.
(Plans: Hopf & Wirth Architekten)

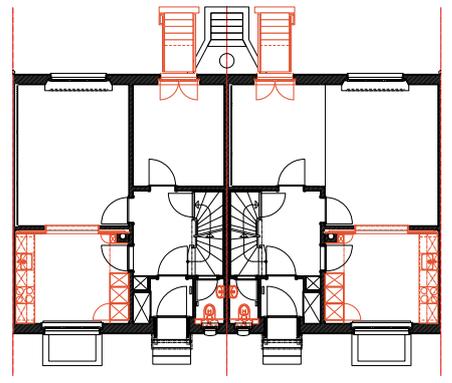
Maisons mitoyennes



Type 1: maison à 3 pièces



Type 2: maison à 4 pièces



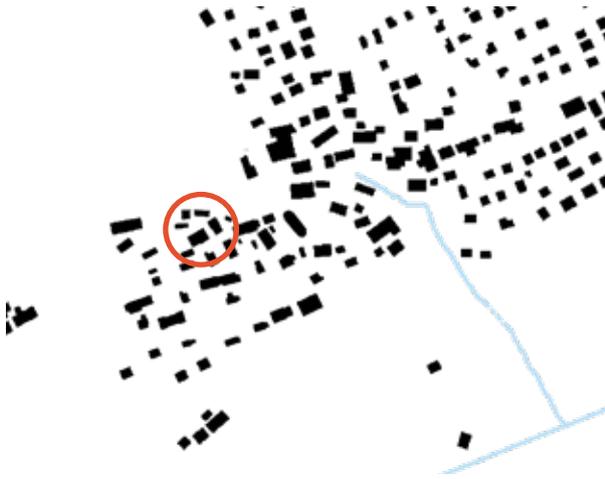
Type 3: maison à 5 pièces



La cuisine (à gauche) et le séjour (à droite) sont désormais directement reliés par une porte coulissante.
(Photos: Hopf & Wirth Architekten)



Le banc en catelles de faïence dans le séjour est toujours un enrichissement après plus de 70 ans. (Photos: Hopf & Wirth Architekten)



14.8 Centre-village de Cressier

Cressier est un petit village du canton de Fribourg, marqué par des structures agricoles. Deux fermes inhabitées, une porcherie et une ancienne école fermée depuis longtemps formaient un ensemble de bâtiments regroupés tel un hameau près de l'église et du centre du village. La commune de Cressier a vu une opportunité dans ces bâtisses inoccupées et a organisé un concours d'architecture. En transformant ces bâtiments en logements de différentes tailles, il s'agissait de préserver le patrimoine, de redonner vie au cœur du village, de le développer et le densifier. L'objectif était de s'opposer activement à la tendance croissante des habitants à quitter le village faute de pouvoir y trouver un logement adapté.

Un jeu d'harmonisation et de contraste

Le projet vainqueur du bureau d'architectes LVPH de Pampigny prévoyait d'enrichir l'ensemble existant de nouveaux volumes et ainsi de les intégrer dans le hameau. Ils disposèrent la nouvelle chapelle funéraire à la périphérie la plus à l'est des édifices. Vue de l'extérieure, elle appartenait ainsi à l'ensemble, tout en étant située à la périphérie. Un petit local communautaire entre l'ancienne école et la grande ferme vient compléter le tout. Les nou-

veaux bâtiments sont disposés de façon à fermer l'ensemble au nord et à l'est et à dégager la vue vers l'ouest.

Un espace extérieur grâce à la façade vitrée

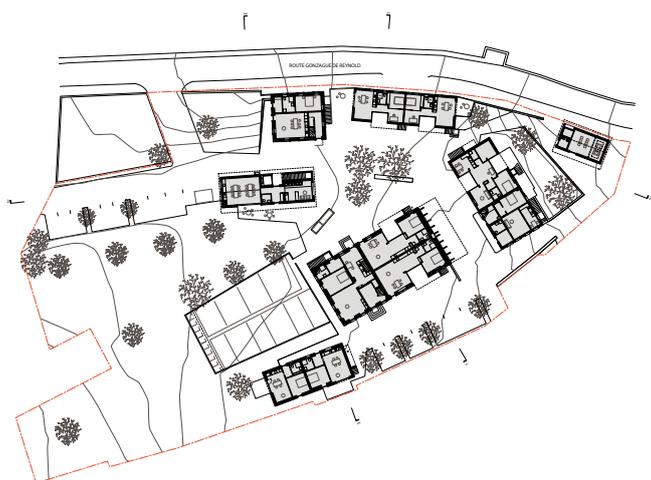
Les deux fermes ont été traitées de manière similaire. Elles accueillent désormais de petits logements dans les anciennes parties habitation, de petits appartements au rez-de-chaussée et d'étroits appartements en duplex à l'étage de l'ancien bâtiment d'exploitation. À l'étage du bâtiment d'exploitation, on s'éloigne de l'ancien mur de l'édifice en créant une façade vitrée pour les duplex et on conserve simplement les poutres porteuses. Entre les poutres qui supportent l'ancienne toiture et le nouveau mur vitré, une loggia d'entrée s'avance devant le logement, tel un balcon. Cet espace extérieur couvert compense le manque de lumière, permet un vitrage intégral même à l'étage des chambres et constitue une sorte de « maison dans la maison » sous l'ancien toit.

Une variété de logements assurant la mixité

On retrouve les pavés existants sur une place homogène, reliant tous les bâtiments. Dans le respect de la typologie villageoise, chaque logement dispose de sa propre entrée, depuis cette place. 19 logements locatifs ont été créés dans ces anciennes fermes, une attention particulière ayant été apportée à la diversification des logements afin de créer une bonne mixité. L'ensemble des rez-de-chaussée sont accessibles aux personnes à mobilité réduite et adaptés aux personnes âgées. Le local communautaire accueille une buanderie, une salle polyvalente et la chaudière à plaquettes de bois. Enfin, un réseau de chaleur à distance a été mis en place pour les bâtiments publics environnants de la commune. Quatre chauffages à mazout ont ainsi pu être remplacés.



Coupe à travers l'ensemble



Rez-de-chaussée

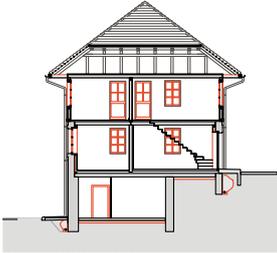


1. Étage supérieur

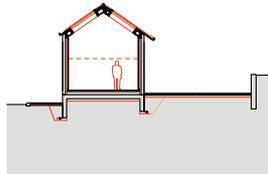
*Plans: LVPH
architectes Sàrl*



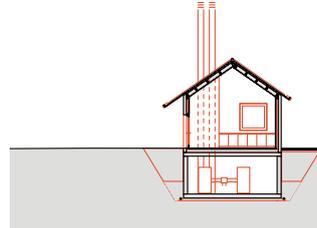
On dirait un hameau: le centre du village rénové de Cressier. (Photo: Rolf Siegenthaler)



Ancien bâtiment scolaire



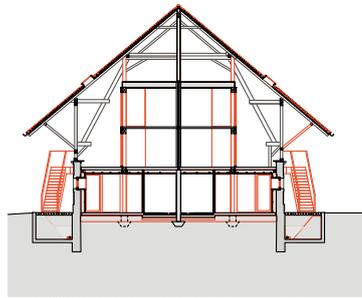
Chapelle



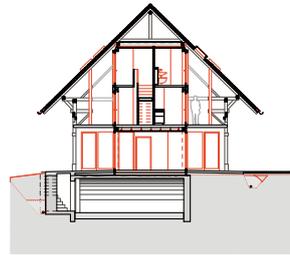
Maison communautaire



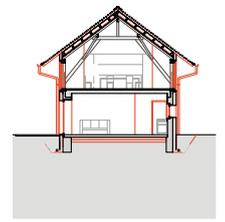
Maison Gonzague



Grande ferme



Petite ferme



Porcherie





Les anciennes fermes ont été transformées en appartements modernes dans lesquels les constructions en bois existantes et nouvelles s'harmonisent parfaitement. (Photos: Rolf Siegenthaler)



14.9 Maison d'habitation à Lausanne

Construit en 1887, l'édifice situé au 6 de la rue de l'Industrie à Lausanne est le précieux témoin des anciens logements d'ouvriers du quartier Vallon. À l'angle de la rue de l'Industrie et du chemin du Calvaire, il occupe une position de premier plan et forme la limite sud du quartier. Dans le recensement architectural des monuments historiques, il est classé comme «objet intéressant au niveau local».

Des origines mises en valeur

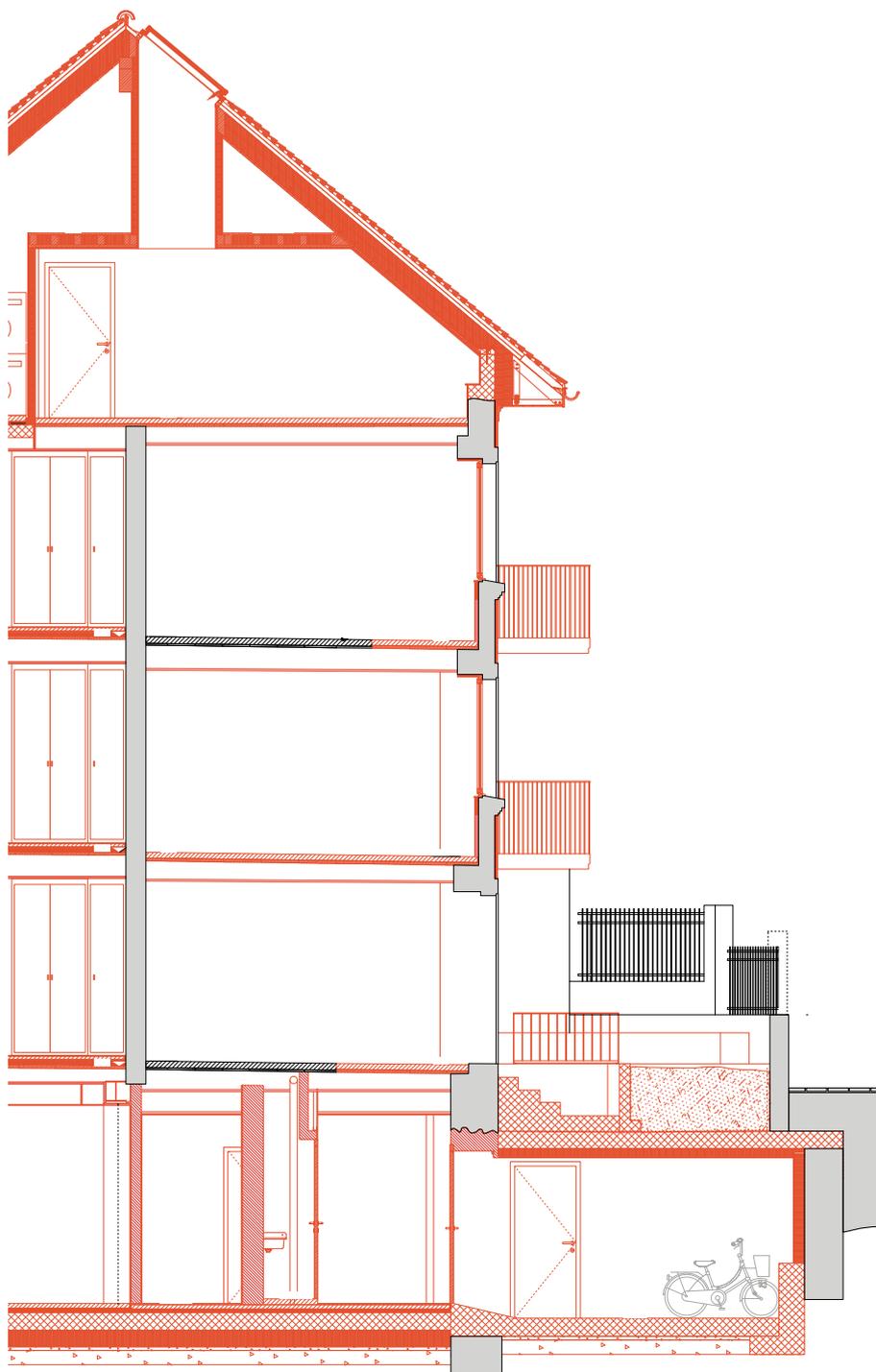
Le rez-de-chaussée élevé s'adapte au terrain fortement escarpé et possède de larges vitrines idéales pour des commerces ou des services publics. Les étages accueillent les appartements. Dans ce quartier, la façade se distingue par ses fenêtres classiques, régulières. Un léger angle module le volume. À cet endroit, une cage d'escalier droite dessert les différents niveaux à l'intérieur. En montant l'escalier, selon l'étage, le regard se promène sur la rue principale animée ou sur l'arrière-cour ceinte d'un grand mur de pierre. L'architecte lausannois Olivier Rochat et son équipe ont révélé les atouts de l'existant. Il leur importait de renforcer les qualités de l'espace afin de conserver la typologie d'origine.

Usages collectifs

C'est dans ce contexte qu'ils ont conçu, pour la coopérative i6, un projet destiné à accueillir des habitations et des commerces. À l'origine, le bâtiment comptait de très petits logements et les toilettes à usage collectif étaient situées sur le palier. L'idée de partager certains usages conformément aux besoins actuels a été conservée. Les huit appartements bénéficient donc d'un local à vélos sous l'arrière-cour et d'une buanderie commune dans les combles nouvellement aménagés. La disposition des logements a été repensée, tout en conservant la structure de base de l'édifice. Les poutres existantes supportent les nouvelles surfaces et couches de technique du bâtiment afin de respecter les exigences relatives à la protection contre le bruit et les incendies. Les combles ont été entièrement réagencés et pourvus de grandes lucarnes pour faire entrer la lumière. Deux petits appartements y ont ainsi pu voir le jour.

Prêt pour l'avenir

Les balcons donnant sur l'arrière-cour et la zone piétonne voisine sont de nouveaux éléments. Avec leur structure en acier très fine, ils s'intègrent parfaitement à l'édifice, offrent une qualité de vie supplémentaire et animent l'espace urbain. La façade est revêtue d'un fin enduit isolant qui ne recouvre pas la séparation historique formée par des corniches et des pilastres. Le bâtiment respecte le standard Minergie grâce à une bonne isolation de la nouvelle structure du toit et de la dalle et à l'intégration d'une ventilation avec récupération de chaleur. En associant les aspects les plus divers, tels que le contexte historique, les nouvelles exigences en matière d'énergie et de technique du bâtiment, les valeurs sociales, la rentabilité et l'esthétique, le bureau O. Rochat Architectes a fait de cet édifice existant un bâtiment prêt pour l'avenir.



Le bâtiment construit en 1987 avant la rénovation. (Photo: O. Rochat architectes)



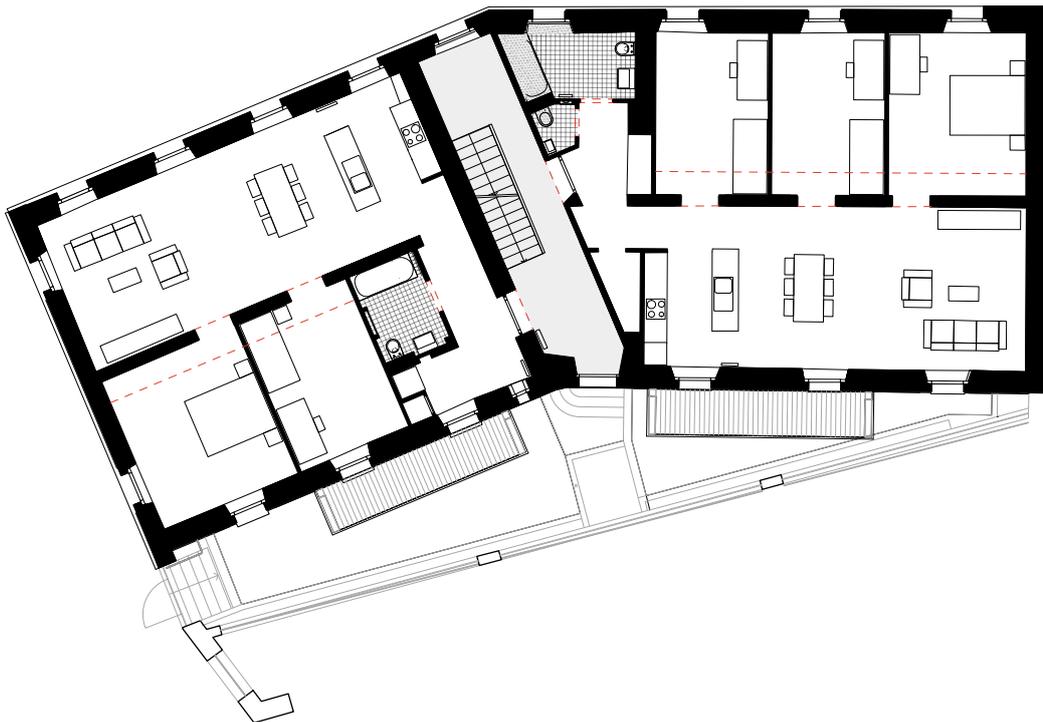
Le caractère de l'immeuble est indéniable, même après la rénovation. (Photo: Thomas Hensinger)



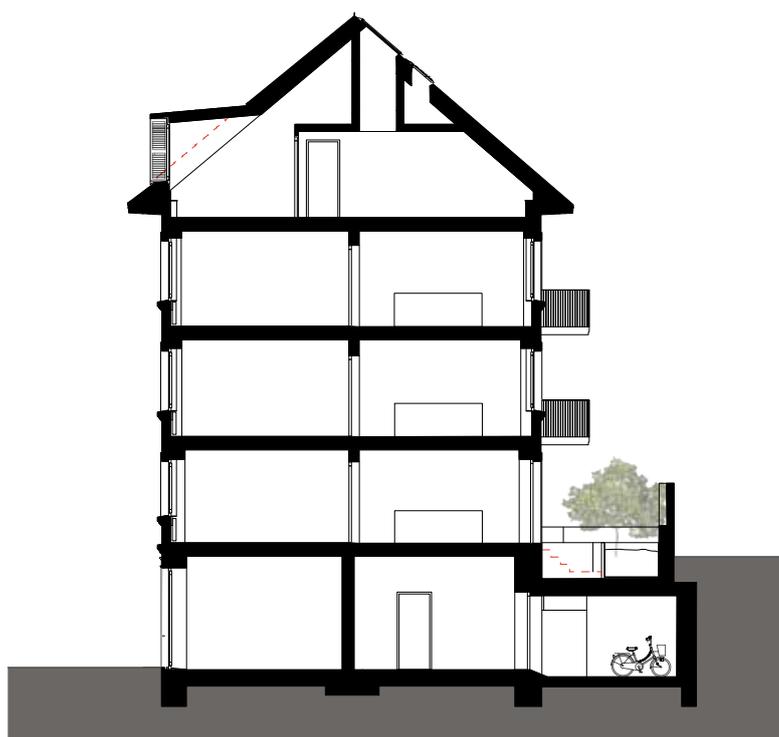
Les nouveaux balcons donnant sur la cour arrière s'inscrivent dans la structure du quartier. (Photo: O. Rochat architectes)



Les balcons offrent un espace de vie supplémentaire et animent le paysage urbain. (Photo: Thomas Hensinger)



*Plan du 2^e étage.
(Plan: O. Rochat architectes)*



Coupe.
(Plan: O. Rochat
architectes)



L'entrée des appartements, qui continue à donner l'accès à certains usages communs comme la buanderie.
(Photo: O. Rochat architectes)



Les intérieurs ont été adaptés en douceur aux exigences modernes. (Photo: Thomas Hensinger)



14.10 Chesa Gabriel à Samedan

Tout au long de son existence, un immeuble connaît souvent des changements radicaux. C'est aussi ce qui est arrivé à «Chesa Gabriel» dans le cœur historique compact du village de Samedan. Construite au 16^e siècle, la bâtisse était à l'époque une petite maison paysanne flanquée d'une étable. Par la suite, elle n'a cessé de faire l'objet de modifications. Rehaussée en 1920, elle connut ainsi un agrandissement considérable de son volume. Entre 1960 et 1970, on installa de nombreuses cloisons de séparation, un escalier intérieur et des pièces d'eau, tandis que les sols, les murs et les plafonds reçurent de nouveaux revêtements et de nouvelles surfaces. La division historique des pièces et les matériaux d'origine n'existent donc quasiment plus aujourd'hui.

Une histoire explorée en profondeur

Par chance, en 2008, la maison devint la propriété d'un maître d'ouvrage qui souhaita connaître le potentiel de la substance historique et commanda une étude. En se basant sur la volonté de diviser la maison en deux parties, le bureau d'architectes Corinna Menn développa un nouveau concept. L'histoire architecturale et la typologie de «Chesa Gabriel» firent l'objet d'une analyse approfondie – car, c'est en connaissant le passé que l'on construit sciemment l'avenir.

Parmi les différentes propositions qu'il reçut, le maître d'ouvrage opta pour un concept qui reposait sur la conservation du noyau de l'immeuble. La maison fut divisée en deux appartements conformément à la jonction de la surélévation. Dans le logement inférieur, les pièces semblables à des chambres, caractéristiques d'une maison engadinoise traditionnelle et portant des noms romans tels que «Chambra», «Stüva» ou «Sulèr», furent conservées. Le retrait des couches modernes laissa apparaître des structures et des surfaces dans un état étonnamment intact.

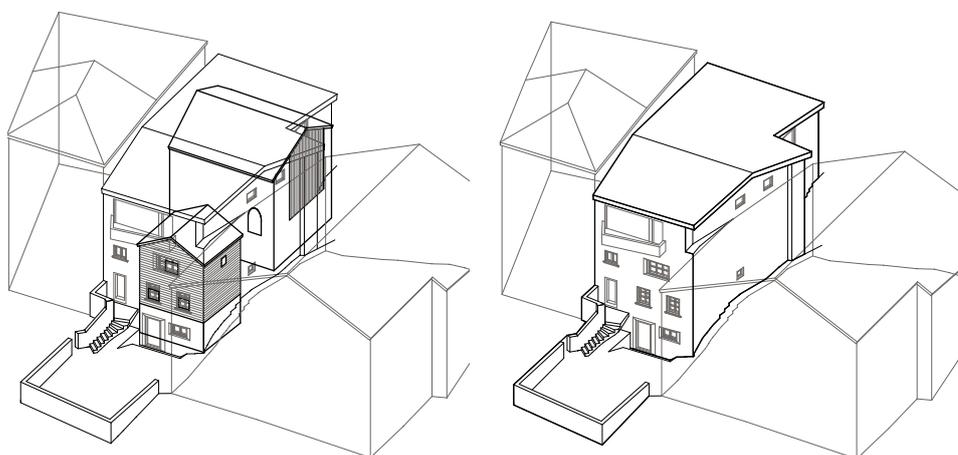
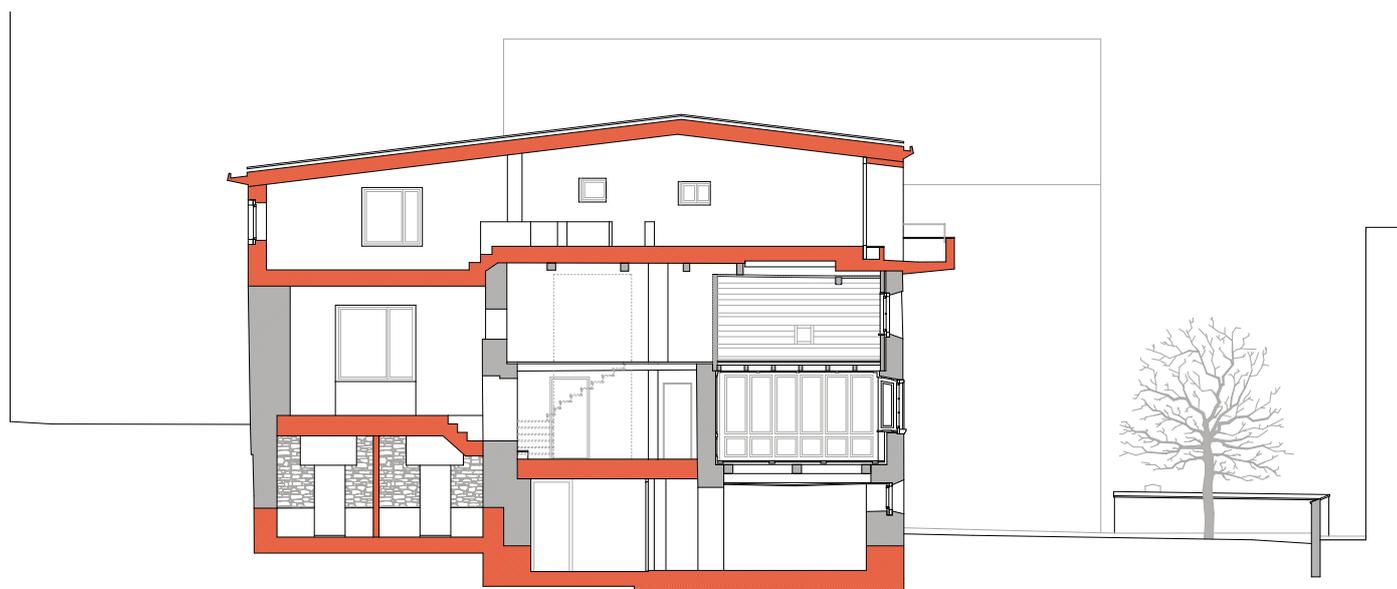
Deux nouvelles unités

En raison de la topographie des lieux, l'étable au nord se situe plus haut d'un mètre environ et donne sur la place du village. La maison a été ouverte à travers toute sa profondeur, y compris l'étable. L'ancienne grange à foin est devenue un espace salle à manger-cuisine lumineux et haut sous plafond et représente un contraste intéressant avec les petites pièces de vie en bois. L'appartement sous les combles est conçu comme la superposition de la surélévation de 1920, sous la forme d'une structure ouverte entre les murs d'enceinte. Un parquet en châtaignier relie de manière fluide, malgré le décalage de niveau, la chambre située au nord, la cuisine au sud et le balcon. Ajouté sur la façade étroite donnant sur le jardin, celui-ci forme un ensemble monolithique, tel un élément du 21^e siècle, avec le mur extérieur. Dans les étages inférieurs, de nouvelles fenêtres ont remplacé les anciennes dans le style du 19^e siècle, les châssis de fenêtres ayant été conservés. Un enduit à la chaux simplement appliqué relie les surfaces.

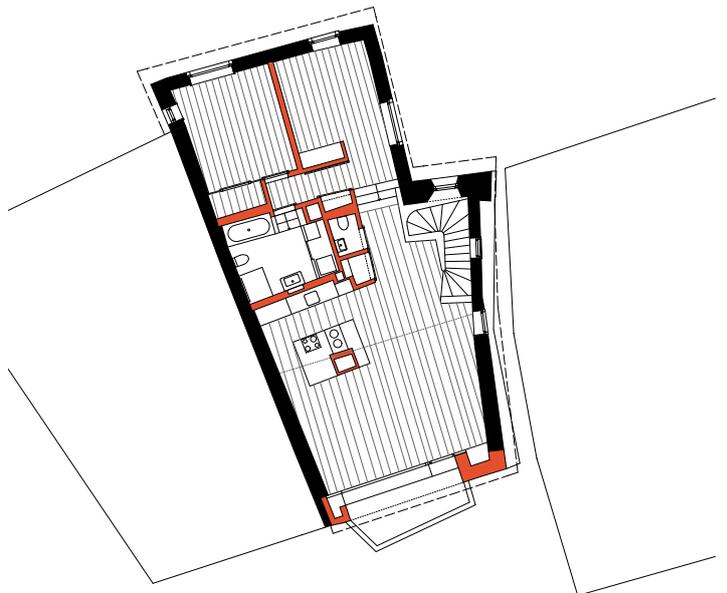
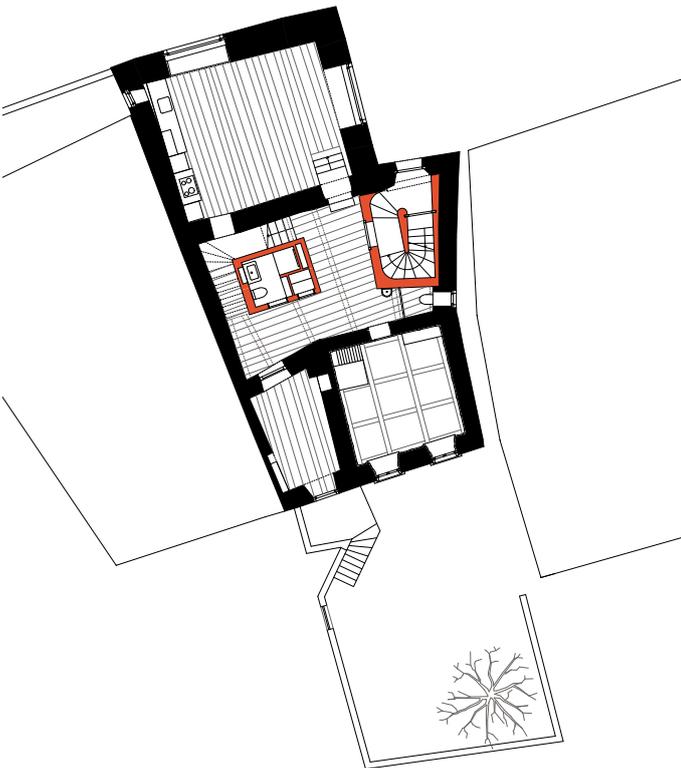
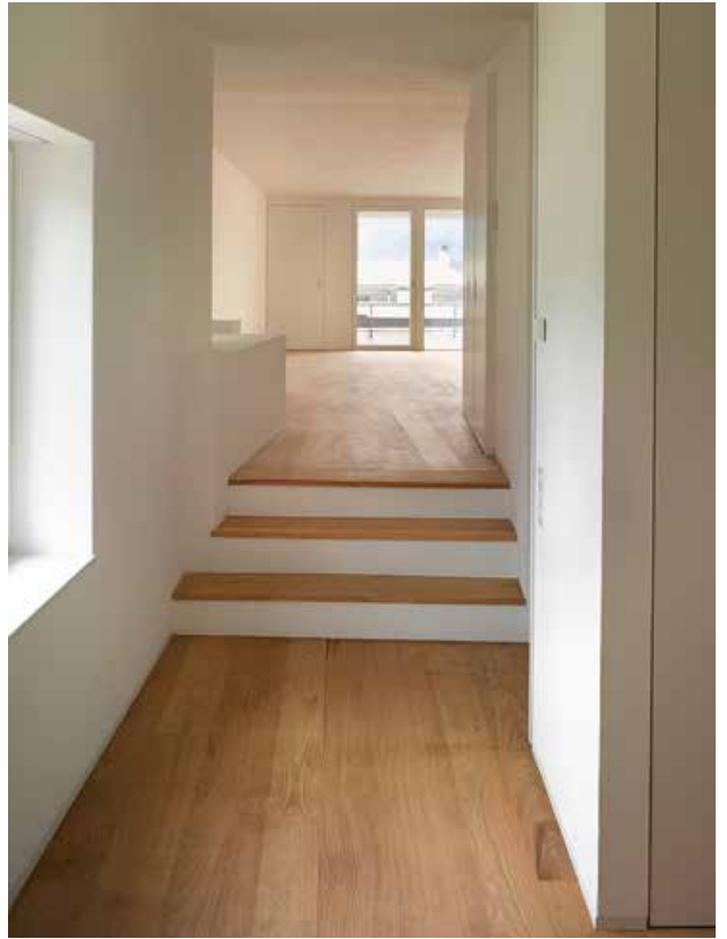
Une pompe à chaleur eau/eau a été installée pour la production de chaleur et d'eau chaude sanitaire. La distribution de la chaleur a pris différentes formes selon les époques et la typologie des espaces. Une régulation en fonction de la température extérieure veille à ce que la chaleur nécessaire soit fournie aux différentes pièces via des radiateurs, un chauffage de sol et des panneaux muraux.



Même après la rénovation, la Chesa Gabriel s'intègre dans le paysage du village de Samedan. La maison typique de l'Engadine abrite aujourd'hui deux logements. (Photos: Franz Rindlisbacher)



Plans: Corinna Menn GmbH



Plan du rez-de-chaussée (à gauche) et des combles (à droite).



Les nombreuses transformations passées ont été partiellement revues. Des structures intactes, comme le mur à droite de l'image, ont été mises en lumière. Photos: Franz Rindlisbacher)



14.11 Ferme à Cavigliano

Pour les acteurs de ce projet, rénover ce bâtiment signifiait perpétuer l'histoire d'un lieu et des personnes qui y ont vécu, en y intégrant les besoins, les ambiances et les rêves d'aujourd'hui. Leur volonté était de s'en imprégner, de découvrir son origine et de l'enrichir de nouvelles histoires de vie. Une vieille bâtisse a une longue histoire et la raconte – cependant, uniquement à celui qui est prêt à l'entendre.

Une variété d'usages

De style lombard typique, la ferme située à Cavigliano est composée à l'origine d'un bâtiment d'habitation, d'un bâtiment d'exploitation avec des étables, d'un tas de fumier dans la cour attenante et d'une cave à vins dans une aile de l'étable. Les deux caves voûtées datant du 16^e ou du 17^e siècle étaient la partie la plus ancienne de la ferme. Au fil des siècles, l'ensemble connut de nombreuses transformations et extensions. Tout dernièrement, une famille de trois personnes a emménagé dans la ferme avec un nouveau projet et a souhaité réaliser d'autres modifications. La ferme qui est leur maison doit accueillir à la fois un logement locatif pour les étudiants de l'école Dimitri voisine et des chambres d'hôtes. L'architecte Salome Fravi et le charpentier qualifié Stefan Höhn ont installé leur atelier mobile sur place et ont invité les maîtres d'ouvrage à participer activement. L'accès au chantier à travers les ruelles étroites du centre du village était problématique. Pour éviter le recours

à un hélicoptère, le chantier a été approvisionné par chariot. La période de transformation intense a favorisé l'intégration et les échanges avec les habitants du village.

Des fûts à vin transformés en parquet

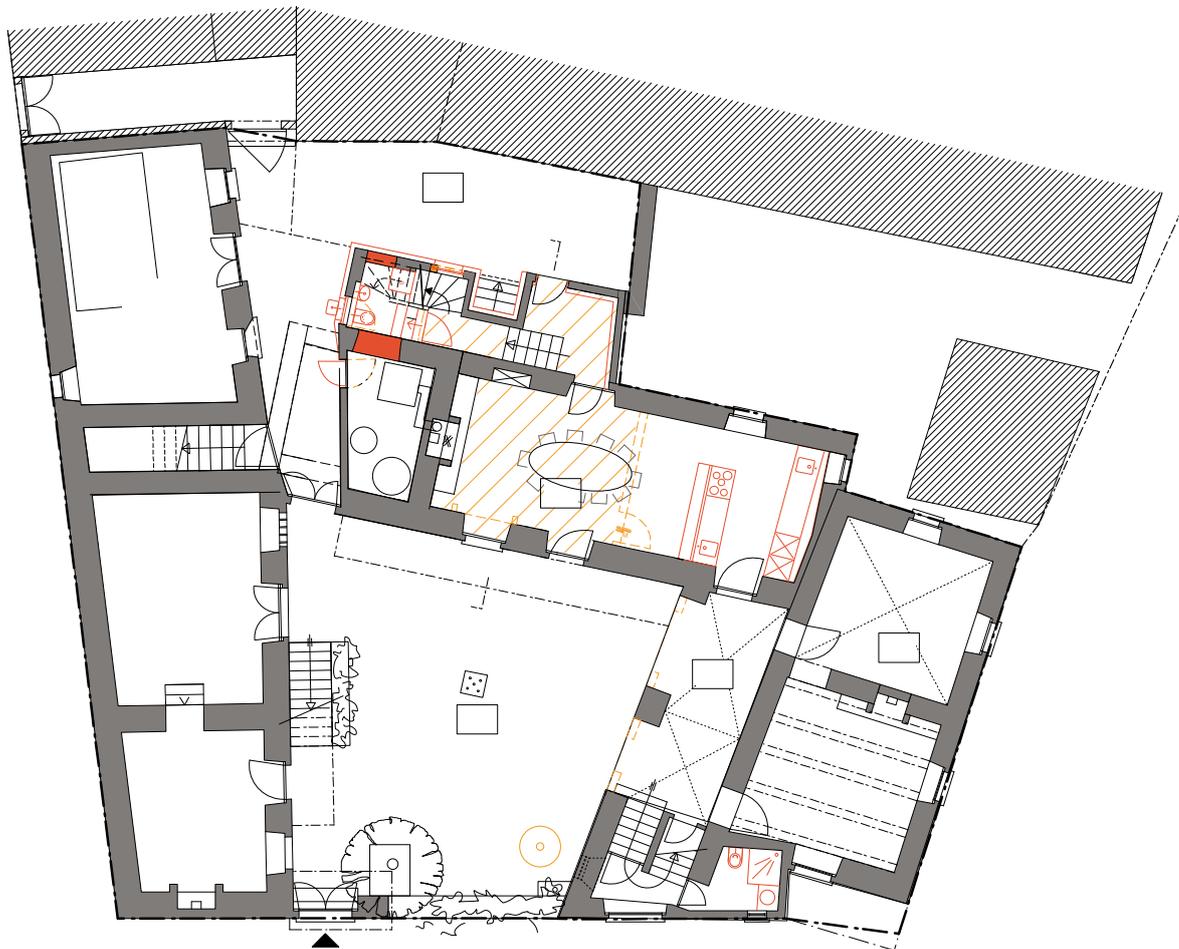
La première étape a consisté à procéder à la rénovation soignée et à l'optimisation énergétique de l'enveloppe du bâtiment, partout où cela paraissait judicieux et nécessaire. Le toit de l'aile de liaison datant des années 1970 a été remplacé et la façade isolée. L'application de fibres de cellulose sur l'ensemble de la toiture a permis de réduire les déperditions de chaleur et d'améliorer la protection thermique des deux ailes du bâtiment en été. Les murs en moellon historiques réalisés en gneiss typique du Tessin mesurent jusqu'à 80 cm d'épaisseur. Lors de la rénovation, seule l'embrasure des fenêtres a été revêtue d'un enduit isolant. On a travaillé avec les ressources naturelles sur place et fait preuve d'inventivité pour utiliser ce qu'on trouvait sur le chantier. On a ainsi réalisé un parquet à chevrons à partir du bois de châtaignier et de chêne des anciens fûts à vin, la coloration du vin lui conférant une teinte unique.

Un sol de cuisine unique

Le sol de la cuisine, un «Cocciopesto», est l'œuvre du maître d'ouvrage qui a elle-même appliqué cette technique après avoir suivi un cours de revêtement à la chaux. Voilà une preuve supplémentaire de l'engouement de tous les acteurs de ce projet pour une utilisation soignée et tactile des matériaux. Le «pesto» de chaux a été densifié par plusieurs couches de sable issu du terrassement, de brique pilée et de débris de terre cuite, ainsi que de graviers des marbres du Val Maggia. Teinté de pigment d'oxyde de fer et poli à l'huile de lin, le «Cocciopesto» recouvre désormais le sol de la cuisine et de la salle à manger. La cave voûtée dans laquelle étaient autrefois stockés les fûts de vin accueille désormais le silo à granulés de bois. Combiné à l'installation solaire thermique, le nouveau système de chauffage chauffe les pièces et fournit l'eau chaude sanitaire.



Le parquet à chevrons est fait de bois de vieux fûts de vin. (Photo: Stefan Höhn)

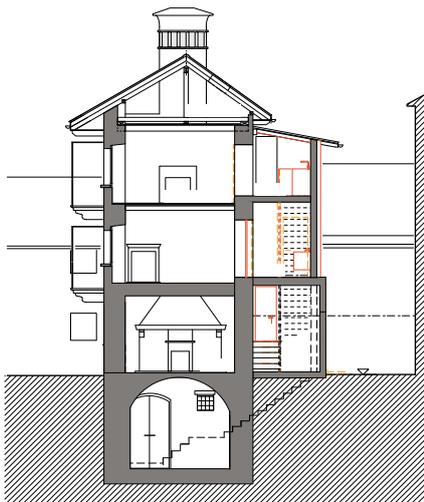


Plan du rez-de-chaussée. (Plan: Salome Fravi)





À gauche: Fabriqué par la propriétaire elle-même: le sol «Coccio-pesto». Cette technique était déjà utilisée par les anciens Romains.



En bas: De vieux fûts de vin, un parquet à chevrons avec une teinte unique. (Photos: Stefan Höhn)





14.12 Établissement scolaire à Hellmatt

L'établissement scolaire construit en deux phases (1967–69 et 1977/78) à Möriken illustre des thèmes importants de notre époque et établit un lien entre eux. Ainsi, l'école pavillonnaire au début des années 1950 et l'atrium dans les années 1960 étaient des modèles architecturaux courants. Il en va de même pour les étalements urbains en nappe, la maçonnerie apparente et la toiture inclinée en fibrociment ondulé. Toutefois, rares sont les écoles qui réunissaient tous ces thèmes de construction. L'école d'Hellmatt fait donc partie d'un type d'établissement scolaire singulier, qui a conduit à sa mise sous protection en 2013.

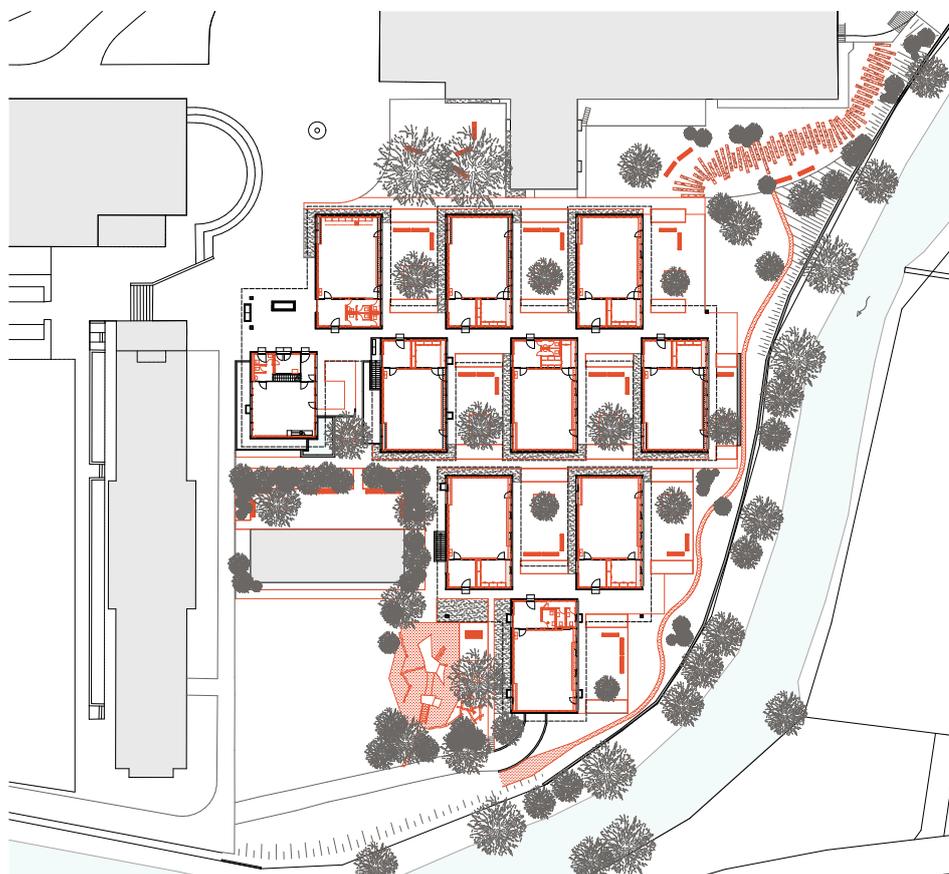
Conserver le matériau et la structure

Philipp Husistein est l'architecte qui a entrepris la rénovation en 2015. «Nous avons procédé, comme habituellement, du général au particulier et avons analysé l'histoire architecturale», explique-t-il. «Avant de lancer la planification de la rénovation en tant que tel, nous avons réalisé des sondages – au sens figuré.» Son équipe a employé divers concepts afin de définir les différents scénarios de rénovation possibles. Leur devise était de conserver au maximum la substance et la structure existantes. Lors de la comparaison des différents scénarios, les planificateurs ont utilisé diverses études techniques afin de mettre au point la stratégie adaptée. D'une part,

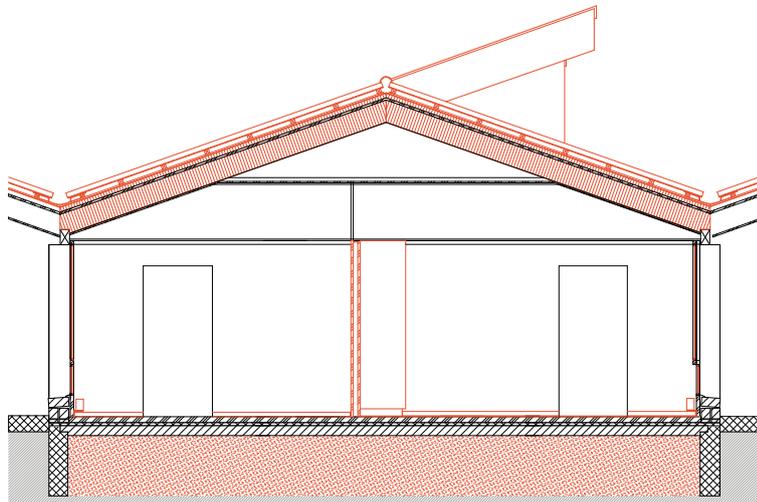
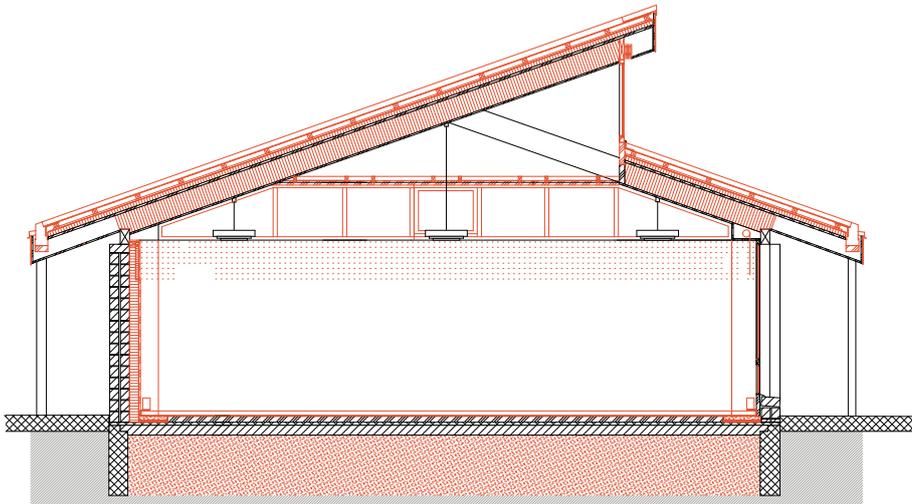
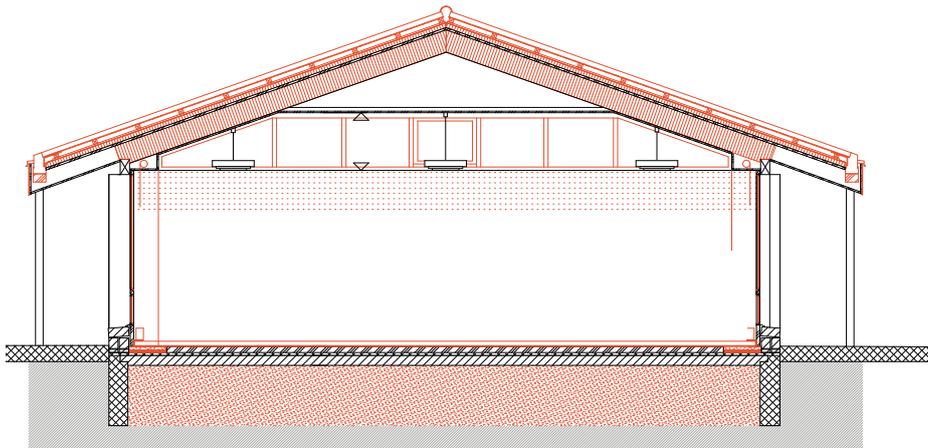
ils ont réalisé une simulation climatique dynamique pendant une année entière qui a révélé le confort au sein du bâtiment et les mesures énergétiques à prendre. D'autre part, les architectes ont travaillé avec des spécialistes à l'élaboration d'un concept énergétique qui consistait en l'étude de la rentabilité des mesures possibles.

Certaines interventions inévitables

Cet examen global a permis de déterminer le meilleur scénario. «L'ensemble a été consigné par écrit dans un concept de restauration en tenant compte de la rentabilité des mesures possibles», poursuit Monsieur Husistein. Au final, la structure de base et l'aspect extérieur ont pu être largement conservés. Bien que les responsables souhaitaient conserver également un maximum d'éléments de construction à l'intérieur, d'importantes interventions ont cependant dû être réalisées. Soit parce que les éléments de construction étaient en fin de vie, soit parce que les exigences et prescriptions actuelles rendaient une intervention inévitable. C'est ainsi que la distribution de chaleur a dû être entièrement re-planifiée et réinstallée par exemple.



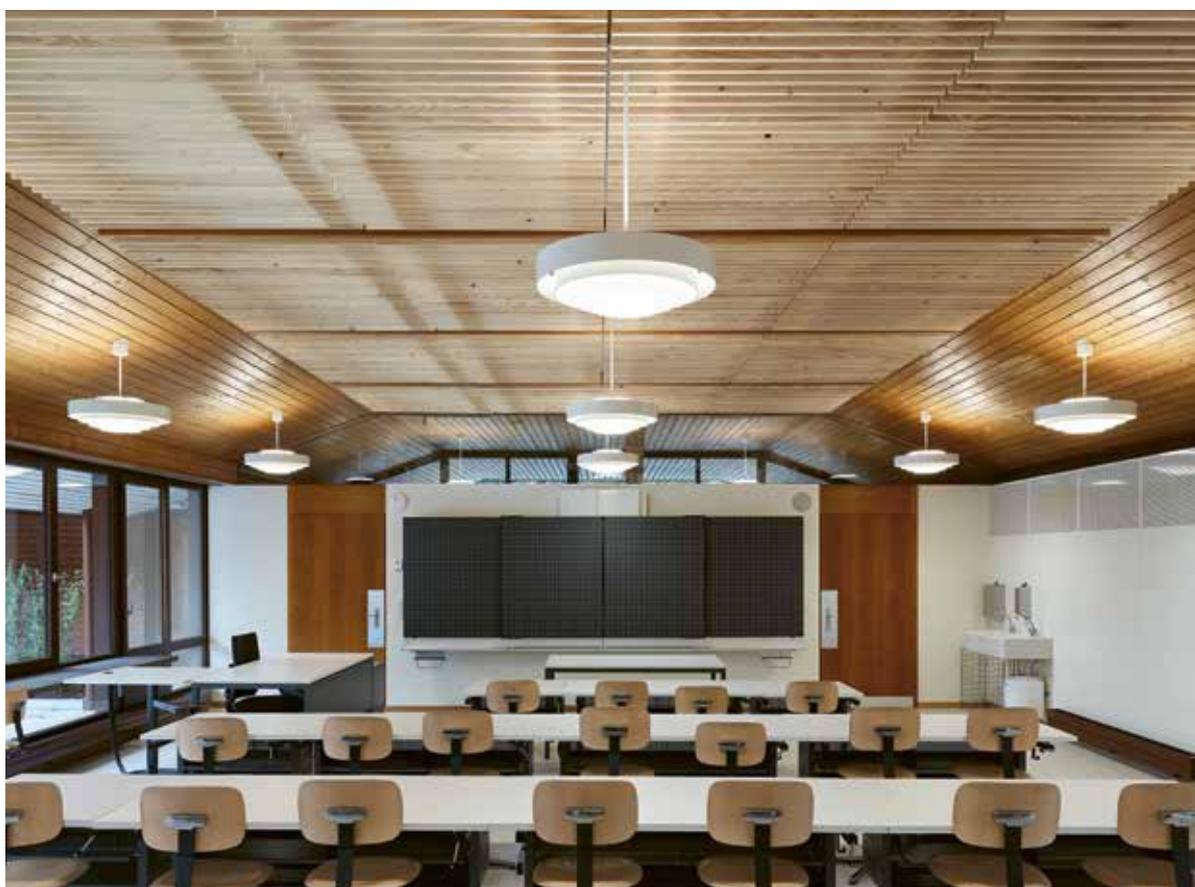
En haut: Les styles de construction du pavillon et de l'atrium sont typiques de l'époque, mais ne se rencontrent que rarement dans les bâtiments scolaires. (Photo: Goran Potkonjak)



*Coupe d'un
pavillon.
(Plans:
Husstein &
Partner AG)*



Aisément reconnaissable: Les différents pavillons du complexe scolaire de Hellmatt. (Photo: Goran Potkonjak)



Une salle de classe contemporaine dans un témoignage contemporain unique. (Photo: Goran Potkonjak)

Annexe

15.1 Auteurs

Peter Schürch, architecte SIA, SWB; 1999 à aujourd'hui: professeur d'architecture à la Haute école spécialisée bernoise/AHB; cursus universitaire Construction durable, EN Bau; depuis 1990, propriétaire de Halle 58 Architekten, Berne.

Dieter Schnell, Dr phil. hist., historien en architecture. Depuis 2001, à la Haute école spécialisée bernoise, département Architecture, Professeur en Théorie de la culture et protection des monuments historiques, directeur de MAS Protection des monuments historique et réaffectation. Depuis 2003, chargé de cours en Histoire de l'art à l'Université de Berne.

Martin Aeberhard, Bachelor of Science Haute école de Lucerne FHZ en technique du bâtiment avec approfondissement CVCS, Master of Science in Mechanical Engineering ETH Lausanne, collaborateur chez Engineering Enerconom AG.

Alfred Breitschmid, Professeur émérite pour l'écologie et le développement durable, Haute école spécialisée bernoise pour l'architecture, le bois et la construction BFH-AH.

Klaus R. Eichenberger, dipl. ing. civil EPF; propriétaire de Semtec AG avec les points forts Gestion de projets, économie de l'immobilier et des ouvrages d'art; jusqu'à 2014, projets de recherche et mandats d'enseignement à la Haute école spécialisée bernoise/AHB Management, gestion de projets et économie de l'immobilier.

Daniel Ernst, MSc sciences de la terre; chef de projet Polluants du bâtiment et Géologie, chez CSD Ingenieure AG.

Urs-Thomas Gerber, ing. dipl. HES, MSc Architecture et environnement, EMBA en Management et Leadership; chargé de cours à la BFH; directeur Areale und Gebäude, chez CSD Ingenieure AG.

Patrick Hertig, B.Sc. Holztechnik HES, chef de projet Énergie, physique de la construction et développement durable, chez Gartenmann Engineering AG à Berne.

Niklaus Hodel, ing. dipl. ETH SIA, Partner Gartenmann Engineering AG, Berne, Zurich, Bâle, Lausanne, Lucerne; chargé de cours en Énergie et physique du bâtiment à la Haute école spécialisée bernoise pour l'architecture, le bois et la construction.

Philippe Lustenberger, M.Sc. Urban Management, Université de Leipzig; BA Architektur Prozessmanagement, BFH Berne; chef de projet Insel Gruppe AG, Direction Médecine, développement durable de l'environnement construit, Berne.

Hansruedi Meyer, ing. civil dipl. EPF SIA SWB, chez WAM Planer und Ingenieure AG Berne. Professeur à la Haute école spécialisée bernoise/AHB pour la conception des structures et des structures historiques, chez MAS Protection des monuments historiques et réaffectation. Depuis 2017, conseiller indépendant.

Heinz Mutzner, ing. dipl. en génie rural EPF, chargé de cours et directeur de projet, chez CAS Kommunale Infrastruktur à la Haute école spécialisée du nord-ouest de la Suisse, Brugg-Windisch.

Maurus Schifferli, ing. dipl. ETS en architecture paysagère, HES BSLA SIA, directeur.

Martin Stocker, ingénieur dipl. HES, partenaire et membre de la Direction de longue date chez Enerconom AG, 10 ans, chargé de cours Gebäudetechnik an HTA-Bern (aujourd'hui HES-Berne).

Jürg Tschabold, architecte HTL, spécialiste en protection incendie avec brevet fédéral CFPA, activité de longue date comme conseiller (Service de prévention contre l'incendie BVD – Institut de sécurité SWISSI) avec spécialisation en concept de protection incendie et protection incendie dans la construction, collaborateur pour l'enseignement et les cours.

Violanta von Gunten, architecte dipl. HES; Halle 58 Architekten, Berne.

15.2 Sources

- Minergie-P. Marco Ragonesi, Urs-Peter Menti, Adrian Tschui, Benno Zurfluh. La maison de la Société à 2000 watts. 3^e édition. Zurich, Faktor Verlag 2010
- Aus Bauschäden lernen. Jürgen Blaich. Zurich, HEV 2008
- Dans le détail: Gebäudehüllen. Christian Schittich (éd.). 2^e édition étendue. Munich, détail 2006
- Klima Skin. Gerhard Hausladen, Michael de Saldanha, Petra Liedl. München, Callwey Verlag 2006
- Klima Design. Gerhard Hausladen, Michael de Saldanha, Petra Liedl, Christina Sager. Munich, Callwey Verlag 2004

15.3 Informations complémentaires

Bibliographie générale

- Atlas Sanierung. Georg Giebeler, Harald Krause, Rainer Fisch. Instandhaltung, Umbau, Ergänzung. Munich, détail 2008
- Energie Atlas – Nachhaltige Architektur. Manfred Hegger, Matthias Fuchs, Thomas Stark, Martin Zeumer. Munich, détail 2007
- Dans le détail: Bauen im Bestand. Christian Schittich (éd.). Innovative Konzepte für neue Nutzungen. Munich, détail 2003
- Élément 29. Protection thermique dans le bâtiment. Thomas Frank, Jutta Glanzmann, Bruno Keller, Andreas Queisser, Marco Ragonesi. Zurich, Faktor Verlag 2020
- Element 30. Protection contre le bruit dans le bâtiment. Jutta Glanzmann, Walter

Lips, Rolf Meier, Werner Stalder. Zurich, Faktor Verlag 2011

- Energetische Sanierung von Altbauten. Josef Maier. Stuttgart, Fraunhofer IRB Verlag 2009

Normes et règlements

Norme SIA 112/1, Construction durable – Bâtiment, 2017

Norme SIA 180, Protection thermique, protection contre l'humidité et climat intérieur dans les bâtiments, 2014

Norme SIA 181, Protection contre le bruit dans le bâtiment, 2006

Norme SIA 232/1, Toitures inclinées, 2011

Norme SIA 232/2, Bardages, 2000

Norme SIA 243, Isolations thermiques extérieures crépies, 2008

Norme SIA 271, Étanchéité des bâtiments, 2007

Norme SIA 279, Matériaux de construction isolants, 2018

Norme SIA 331, Fenêtres et portes-fenêtres, 2012

Norme SIA 380, Grundlagen für die energetische Berechnung von Gebäuden, 2015

Norme SIA 380/1, Besoins de chaleur pour le chauffage, 2016

Norme SIA 382/1, Installations de ventilation et de climatisation – Bases générales et performances requises, 2014

Norme SIA 382/2, Bâtiments climatisés – Puissance requise et besoins d'énergie, 2011

Cahier technique SIA 2028, Données climatiques pour la physique du bâtiment, l'énergie et les installations du bâtiment, 2010

Cahier technique SIA 2031, Certificat énergétique des bâtiments, 2016

Cahier technique SIA 2032, L'énergie grise des bâtiments, édition

Cahier technique SIA 2040, La voie SIA vers l'efficacité énergétique, 2017

Internet

- www.baufachinformation.de
- www.detail.de
- www.endk.ch
- www.faktor.ch
- www.sia.ch
- www.vdf.ethz.ch

15.4 Index des mots clés

A

Acoustique ambiante 68
 Aération douce 130
 Agents énergétiques 99
 Agrandissement 69
 Aménagement 14
 Amiante 80
 Analyse 27
 Analyse d'un site contaminé 77
 Anciens logements d'ouvriers 150
 Argon 52
 Autoconsommation d'énergie 106

B

Barrières anti-incendie 87
 Bassin de filtration et de rétention 114
 Bien-être 15
 Bilans écologiques 90
 Biodiversité 16, 122
 Bois 102
 Bruit aérien 65
 Bruit de choc 66
 Bruit de l'extérieur 64

C

Cadmium 80
 Capacité d'action 15
 Capteurs solaires 90
 CECB 46, 99
 Centrales de couplage chaleur-force 107
 Centre-village 146
 Chaleur à distance 102
 Changement d'affectation 24, 130
 Chaudière à plaquettes de bois 146
 Chrome 80
 Cité-jardin 142
 Cœur historique compact du village 154
 Combles 150
 Combles aménagés 118, 142
 Commerciabilité 15
 Communication 8, 33
 Concepts de matériaux 77
 Concepts énergétiques 89
 Conduite de drainage 61
 Conservation des monuments historiques 23
 Constructions nouvelles 43
 Contacts sociaux 14
 Contrat de bail 34

Contre-lattage 56
 Coopérative d'autoconsommation (RCP) 106
 Coopérative immobilière 138
 Couche d'étanchéité à l'air 56
 Couche d'étanchéité à l'eau 59
 Coûts du cycle de vie 15
 Couverture 56
 Création d'un sous-sol 72
 Crêpi isolant 47
 Cycle de vie 40
 Cycles des matériaux 16

D

Degré de technicité 96
 Densification 15
 Développement urbain 112
 Diffusion de vapeur 61
 Double rosace du développement durable 17
 Double vitrage 52
 Drain 62
 Durabilité 16
 Durée de réverbération 68
 Durée de vie 20

E

École pavillonnaire 162
 Écologie 90
 Économie 10, 90
 Efficacité énergétique 93
 Élastomère 59
 Électricité verte 105
 Éléments en bois 134
 Éléments photovoltaïques 51, 57
 Émissions de CO₂ 90
 Encouragement 46
 Enduit isolant 158
 Énergie finale 90
 Énergie primaire 90
 Équilibre 15
 Espace extérieur 111
 Exigence du système 46
 Exigences des utilisateurs 40
 Existant matériel 30
 Exploitation 16
 Exploitation du sol 111
 Extensions de bâtiments 43

F

Façades 48, 138
Fenêtres 52
Ferme 122, 146, 158
Fibres minérales 80
Flexibilité 84
Flexibilité d'utilisation 84
Fondations 61
Formes de collaboration 34

G

Garderies d'enfants 126
Gaz naturel 101
Grange 122

I

ICOMOS 23
IFP 30
îlots de chaleur 112
Inadéquation 26
Infrastructure 13
Installation photovoltaïque 122
Installations photovoltaïques 104, 105, 143
Isolation intérieure 61
ISOS 30

J

Joint de séparation 69

K

Krypton 52

L

Lattage du toit 56
Lieu d'implantation 34
Loggias 118
Loi sur la protection de l'environnement 63
Loi sur le travail 85

M

Maison artisanale 126
Maisons mitoyennes 142
Maître d'ouvrage 35
Marché 38
Matériaux 81
Matériaux de construction toxiques 77
Matières synthétiques 59
Mazout 101
Mercure 80
Métaux lourds 80
Minergie 46, 93, 99, 130, 150
Minergie-A 93
Minergie-Eco 93

Minergie-P 43, 93

Mise sous protection 162

Mix électrique 93

Mobilité 16

Modèle de prescriptions énergétiques des cantons (MoPEC) 43, 44, 99

Monuments historiques 122, 150

N

Norme SIA 112/1 19

O

Offre en matière d'espace 30

Optimisation 109

Ordonnance fédérale sur la protection contre le bruit (OPB) 63

P

Panneau d'étanchéité 61

Pare-vapeur 61

Participation 15

Périmètre d'isolation 60

Période d'observation 40

Permis de construire 34

Petite maison paysanne 154

Photovoltaïque 138

Plafond des caves 61

Plancher des combles 60

Plan des pièces 30

Plomb 80

Polychlorobiphényles 80

Pompe à chaleur avec sondes géothermiques 122

Pompe à chaleur eau/eau 154

Pompes à chaleur 104

Potentiel 32

Prescriptions légales 99

Prescriptions légales en matière de construction 30

Processus de planification 33

Protection contre l'humidité 62

Protection contre l'intrusion 88

Protection des monuments historique 53

Protection du patrimoine 23

Protection incendie 85

Protection incendie au plan technique 87

Protection phonique 63

Q

Qualité esthétique 11, 28

R

Réalisation 16
 Réduction des nuits 112
 Refroidissement nocturne 134
 Réglages initiaux 109
 Rejets de chaleur 107
 Remblai drainant 61
 Rénovations de façades 51
 Réseau d'anergie 143
 Résistance sismique 126
 Revêtements infrarouges 52
 Rosace du développement durable 17

S

Salles de cours 68
 Sécurité 85
 Sécurité sismique 76
 Sécurité structurelle 76
 Séparation des éléments 84
 Séparation des systèmes 77
 Simple vitrage 52
 Site 15
 Sites contaminés 77
 Sobriété 16
 Solaire thermique 104, 158
 Solidarité 14
 Solutions standard 100
 Sous-sol 70
 Standard Minergie-P 49
 Standards en matière de construction 38
 Stratégie 33
 Stratégie de portefeuille immobilier 33
 Structure en bois 57
 Structure porteuse 69
 Surélévation 71, 118, 134
 Surenchère spatiale 24
 Surenchère technique 26
 Surfaces habitables 19
 Système primaire 20, 21
 Systèmes d'étanchéité 59
 Système secondaire 20, 21
 Système tertiaire 20, 21

T

Toiture avec mansardes 56
 Toiture chaude 56
 Toiture compacte 58
 Toiture composite 58
 Toiture en pente 56
 Toiture froide ventilée 58
 Toiture inversée 58
 Toiture plate 58

Tours d'habitation 138
 Transformation 46, 74
 Transmission du bruit solidien 67
 Triples vitrages IV 52

U

Unités de charge écologique 93
 Utilisabilité 14
 Utilisation des rejets thermiques 97

V

Valeurs d'alarme 64
 Valeurs de planification 64
 Valeurs limites d'immission 64
 Vitrages 52
 Voie SIA vers l'efficacité énergétique 138

Z

Zone industrielle 130

