

# Aérer en respectant le bâtiment

Comment ventiler les logements  
lors de leur rénovation



suisse énergie



Le choix d'une stratégie de rénovation doit principalement s'appuyer sur la connaissance du contexte spécifique et sur les objectifs individuels du maître de l'ouvrage. Cela n'empêche pas l'architecte de s'inspirer des principes fondamentaux permettant d'assurer la compatibilité entre infrastructure technique et structure des logements à rénover. Les contraintes à respecter sont, d'une part, une qualité élevée des aménagements intérieurs, d'autre part, une valeur d'usage répondant véritablement aux besoins des utilisateurs. Sans oublier que les investissements consentis pour atteindre une bonne qualité de l'air intérieur doivent rester dans un ordre de grandeur raisonnable, c'est-à-dire être rationnels sur le plan de leur rentabilité. L'enjeu est de conserver et de poursuivre une culture architecturale qui se reconnaisse dans les principes de durabilité; en d'autres termes, une culture basée sur la cohérence globale entre formes architecturales et équipements techniques.



# Sommaire

---

Situation initiale et objectif .....	4
○ Qualités architecturales et rénovation des bâtiments existants .....	4
○ Efficacité énergétique, étanchéité de l'enveloppe et confort des habitants .....	4
○ Le « bon air » fait partie du confort .....	4
○ Evolution de la notion de confort au cours du temps (espaces et matériaux) .....	5
○ Aides à la décision au début des études .....	6
Historique de la construction de logements .....	7
○ Evolution de l'architecture en Suisse entre 1900 et 2000 du point de vue de l'aération des locaux .....	7
Stratégies pour des solutions .....	14
○ Deux thèses sur les relations entre la qualité de l'espace et la qualité de l'air .....	14
○ Niveaux d'analyse .....	14
Niveau 1: contexte .....	15
Niveau 2: bâtiment .....	17
Niveau 3: logement .....	26
Niveau 4: éléments de construction .....	28
Résumé en guise de conclusion .....	34
Annexe .....	36
○ Aérer en respectant le bâtiment: listes de contrôle .....	36

---

# Situation initiale et objectif

## Qualités architecturales et rénovation des bâtiments existants

Environ un tiers des bâtiments d'habitation en Suisse ont plus de 70 ans, tandis que la moitié ont plus de 25 ans<sup>1</sup>. Il y a donc encore beaucoup à faire pour adapter ce parc immobilier aux conditions de vie actuelles et aux exigences sociales correspondantes relatives au logement. Il faudrait entreprendre de nombreuses opérations de rénovation; or, le taux de rénovation de ce parc reste encore relativement faible par rapport aux besoins. Savoir comment gérer notre patrimoine architectural et culturel est un réel enjeu de société; il n'est pas adéquat de le traiter seulement comme une simple question technique et économique. Au contraire, il est demandé aux professionnels du bâtiment de faire preuve de sensibilité face à un ancien bâtiment possédant des qualités particulières. Une telle attitude permet de préparer une opération de rénovation qui apportera au bâtiment une réelle plus-value. Dans la conception de nouveaux bâtiments, il va de soi aujourd'hui d'aborder dès le début des études les questions de consommation totale d'énergie, de qualité de l'air intérieur et de confort des habitants. Dans les opérations de rénovation, au contraire, il est beaucoup plus difficile de traiter ces aspects.

Si l'architecte n'y prend pas garde, il se verra contraint, pour respecter ces exigences actuelles, de planifier de profondes transformations de la substance même du bâtiment, ce qui ne manquera pas de modifier l'expression architecturale de ce dernier, ainsi que la qualité de ses volumes intérieurs. Les auteurs de la présente publication se sont limités à la question de la qualité de l'air intérieur, mais considèrent qu'il ne s'agit que d'un aspect du problème plus vaste de la rénovation des bâtiments d'habitation. Ils souhaitent rendre le lecteur attentif à l'importance des critères de qualité intrinsèque du bâtiment, et à la nécessité de concevoir des stratégies globales de rénovation qui puissent assurer la pérennité de notre culture architecturale.

## Efficacité énergétique, étanchéité de l'enveloppe et confort des habitants

Ces dernières années, l'étanchéité à l'air et la qualité de l'isolation des enveloppes de bâtiments ont été nettement améliorées et ce, dans le but de réduire autant que possible

les dépenses d'énergie à moyen et long terme.

Cette tendance a eu, certes, les effets positifs escomptés, mais les mesures prises ont aussi leur revers de médaille: souvent, les bâtiments sont devenus si étanches que l'air des pièces ne se renouvelle presque plus naturellement. On observe alors parfois une élévation passagère du taux de CO<sub>2</sub> et une augmentation significative de l'humidité de l'air intérieur, avec des phénomènes de condensation sur certains éléments de construction. L'atmosphère des pièces s'en ressent, et les habitants perdent en grande partie leur confort. Aujourd'hui, la réponse la plus fréquente à cette situation est proposée sous la forme de systèmes programmables de ventilation contrôlée. On espère ainsi améliorer le confort des utilisateurs et prévenir les dommages aux bâtiments, lesquels ne manqueraient pas d'apparaître au cours du temps, suite aux problèmes soulevés. Mais il est difficile, en intégrant de tels systèmes, de respecter les qualités architecturales souvent remarquables du bâtiment à rénover.

## Le «bon air» fait partie du confort

La notion de confort est éminemment relative à une époque, et les exigences y relatives évoluent en permanence. Les premières habitations construites avaient pour but principal de protéger les êtres humains contre les intempéries et les dangers. Les foyers permettaient de satisfaire les besoins élémentaires: disposer d'une source de chaleur et cuire des aliments. Aujourd'hui, la maison répond à des besoins de confort qui varient en fonction du lieu d'implantation, du contexte culturel, mais aussi de l'époque. Dans les sociétés développées sur le plan technologique, la notion de confort est souvent assimilée à un certain niveau de bien-être et à l'accès à certaines commodités. La réponse à ces besoins est souvent apportée par des installations techniques. On a souvent oublié que la qualité de vie dans un logement ne dépend pas seulement de paramètres mesurables, comme le débit constant de renouvellement de l'air par une installation automatique. Il est vrai que, sur les plans scientifique et technique – comme dans la norme SIA 180 Isolation thermique et protection contre l'humidité dans les bâtiments<sup>2</sup> –, le «bon air» est défini en termes de confort thermique.

<sup>1</sup> Office fédéral de la statistique: <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/themen/09/02/blank/key/gebäude/bauperiode.html>.

<sup>2</sup> Cf. norme SIA 180 Isolation thermique et protection contre l'humidité dans les bâtiments, Zurich, Edition 1999, pp. 22ss.

Ce dernier dépend non seulement de la température de l'air de la pièce, mais également des températures de surface des parois (température radiante), de la vitesse de circulation de l'air et de son humidité. La norme SIA 382/1 Installations de ventilation et de climatisation – Bases générales et performances requises<sup>3</sup> complète la définition ci-dessus de la qualité de l'air et du confort. Elle ajoute des critères d'acoustique, d'éclairage et de couleurs, de taille des pièces et d'ameublement, ou encore de vue vers l'extérieur et de possibilité d'aération manuelle par les fenêtres. Par ailleurs, rappelons que le sentiment de confort dépend encore de facteurs liés à la saison, ou à la personne elle-même, tels que le sexe, l'âge ou l'état de santé<sup>4</sup>. S'y ajoutent aussi des questions liées à la différenciation des espaces. En effet, «(...) le confort pur est une notion absurde et ennuyeuse. La définition du confort, au sens de bien-être, doit être affinée pour chaque pièce, et même pour des coins de pièces ou des niches.»<sup>5</sup>

En résumé, le sentiment de confort dépend autant de facteurs architecturaux que de questions purement techniques. Tout l'art de l'architecte est de marier harmonieusement les qualités des espaces intérieurs avec les possibilités de la technique (température et qualité de l'air contrôlées et gérées automatiquement).

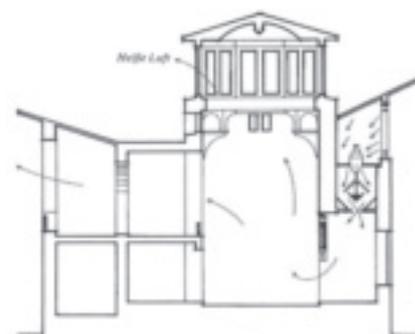
### Evolution de la notion de confort au cours du temps (espaces et matériaux)

Si l'on considère les anciens développements de la maison sur le plan socioculturel, on s'aperçoit que le système de chauffage, par exemple, est étroitement lié à l'organisation des pièces et au plan de la maison. On passe du feu ouvert au milieu de la cuisine, au Kachelofen (ou poêle alsacien en faïence) placé au cœur du logement, puis au chauffage central avec radiateurs. Dans l'architecture vernaculaire, notamment dans les régions à climat difficile, la question de l'aération s'est révélée déterminante et a marqué l'urbanisme des cités et l'architecture des bâtiments de manière particulièrement prégnante selon les époques. Les deux exemples ci-contre montrent qu'il est tout à fait possible de gérer la qualité de l'air intérieur sans installations techniques auxiliaires.



1

*Dans l'architecture vernaculaire – comme on le voit dans des maisons des régions alpines ou himalayennes – les aspects de l'organisation de l'espace et de l'aération des locaux sont traités conjointement. Ces maisons comportent des espaces intermédiaires qui peuvent être utilisés avec des niveaux de confort variables en fonction des saisons.*



2

*Dans les pays d'Afrique du Nord et dans les régions marquées par la civilisation arabe, les maisons disposent d'éléments facilitant la circulation de l'air, tels que les «malquaf» (tour de refroidissement, piège à vent) et les «claustra» (ouvertures dans la façade équipées d'un grillage ou d'un élément perforé).*

<sup>3</sup> Norme SIA 382/1 Installations de ventilation et de climatisation – Bases générales et performances requises, édition 2007, p. 25.

<sup>4</sup> Klaus Daniels: Gebäudetechnik- ein Leitfaden für Architekten und Ingenieure (Technique du bâtiment: guide pour les architectes et les ingénieurs, en allemand seulement), Oldenburg: vdf Hochschulverlag, 2000, p. 26.

<sup>5</sup> Dialogue entre Verena Huber et Christina Sonderegger (en allemand) in: Werk, bauen + wohnen, cahier 3/2003, p. 60.

Il suffit d'organiser les pièces de manière judicieuse (maisons dans les Alpes ou au Bhoutan), ou de placer des ouvertures murales aux bons endroits (maisons en Egypte), pour gérer non seulement la vitesse du renouvellement de l'air, mais aussi les différences de température et de pression de l'air. Cette ancienne tradition est toujours de mise aujourd'hui.

Si l'architecte s'efforce d'intégrer les fondements des principes de l'architecture vernaculaire, et de comprendre comment fonctionnent les phénomènes physiques dans l'espace et dans les matériaux, il sera capable de trouver de nouvelles stratégies d'aération des logements. Pour y parvenir, il devra en général revoir sa définition du confort, souvent limitée jusqu'ici à des aspects purement techniques et quantifiables. En effet, amener du bon air dans une pièce, ce n'est pas seulement dimensionner correctement des installations qui apporteront un débit d'air frais suffisant. Jouent également un rôle les dimensions des pièces, leur disposition les unes par rapport aux autres, la stratification des espaces et le comportement des utilisateurs. Ou encore, les modes de construction permettant la diffusion de la vapeur d'eau, ou le choix de matériaux de construction poreux, capables d'emmagasiner de l'humidité, pour la restituer plus tard.

### Aides à la décision au début des études: guide et liste de contrôle

La présente publication propose des éléments de solution et des critères de décision pour résoudre la question de l'aération des bâtiments d'habitation soumis à rénovation. Elle s'adresse principalement aux maîtres d'ouvrages et aux gérances ou régies immobilières, mais également aux architectes et autres concepteurs. Ses auteurs présentent, bien sûr, les solutions techniques de ventilation forcée mises en œuvre pratiquement partout ces dernières années. Mais ils proposent aussi des systèmes d'aération différents, qui permettent de bien aérer les pièces tout en respectant les qualités architecturales. Ils focalisent leur propos sur le confort des utilisateurs, l'intégration des éléments techniques dans les contraintes architecturales, ainsi que sur des considérations quant à la rentabilité et à l'opportunité de certains équipements.

Il s'agit de poser les problèmes en termes d'organisation de l'espace, mais aussi de stratégies intelligentes pour alimenter des pièces étanches en air frais. Le présent guide de planification veut sensibiliser le lecteur aux corrélations entre organisation spatiale des pièces et infrastructure de ventilation. Il se propose, au moyen de listes de contrôle, de fournir au concepteur une vue d'ensemble de la problématique, ce qui l'aidera à prendre très tôt dans le processus de conception, des décisions judicieuses et adaptées à chaque cas particulier.

#### Méthodologie:

Sur la base des considérations ci-dessus, les auteurs du présent document proposent d'aborder la problématique de l'aération des locaux sur les quatre plans suivants:

Contexte | Bâtiment | Logement | Éléments de construction

Ce faisant, ils reprennent la démarche classique de conception du projet et invitent les concepteurs à adopter une vue globale du problème, en tenant compte de toutes les échelles à la fois, et ce, dès les premières esquisses.

La partie principale du présent document entrera en détail sur ces quatre plans, avec leurs divers aspects. Mais auparavant, il est intéressant de survoler l'histoire de l'architecture des immeubles d'habitation entre 1900 et 2000. L'accent est porté sur le type de bâtiments, le plan des logements et le mode de construction, tous aspects significatifs au moment du choix d'une solution d'aération.

# Historique de la construction de logements

## Evolution de l'architecture en Suisse entre 1900 et 2000 du point de vue de l'aération des locaux

Au cours du dernier siècle, les modes de vie et les conceptions du logement idéal ont beaucoup évolué avec la modernisation de la société, ce qui s'est répercuté sur les corrélations entre l'espace habitable et la qualité de l'air dans les logements. Jusqu'au tournant du 19<sup>e</sup> au 20<sup>e</sup> siècle, et plus particulièrement dans les campagnes et les régions alpines, la maison avait principalement pour but de protéger ses habitants. A partir du début du 20<sup>e</sup> siècle au plus tard, d'autres notions ont pris de plus en plus d'importance, et pas seulement dans les milieux aisés: disposer d'un espace individuel, améliorer l'hygiène, favoriser la santé, disposer d'air et de lumière en suffisance. A cette époque, ces valeurs ont entraîné la constitution de nombreuses coopératives d'habitation, créant des quartiers de logements subventionnés. Cela a permis à des cercles de population de plus en plus larges d'accéder à de nouvelles conditions de vie.

### Période de 1900 à 1925-30

Une des formes urbaines typiques du début du 20<sup>e</sup> siècle (jusque vers 1925) a été la construction de longs immeubles imposants, en forme d'îlots, avec des cours ou des jardins intérieurs – et ce, pas uniquement dans les quartiers industriels des villes d'une certaine importance. Ces immeubles alignés, simples ou doubles, de 3 à 5 étages, se composaient essentiellement d'appartements de 3 ou 4 pièces. Les espaces habitables étaient encore souvent tournés vers la rue. Les pièces étaient généralement distribuées autour d'un hall d'entrée ou d'un corridor central. Parfois, des portes de communication permettaient de relier les pièces entre elles, constituant de petites suites. Dans les premiers ensembles de ce type, les habitants devaient encore souvent se partager une salle de bain unique pour tout l'immeuble, située à la cave. Le chauffage central était encore une exception rarissime. Les appartements disposaient pour tout équipement d'un seul WC et d'une cuisine très simple. Il n'empêche que ces logements sont encore appréciés aujourd'hui pour les belles proportions de leurs pièces, ainsi que pour leur orientation dans plusieurs directions, ce qui assure un bon ensoleillement ou apport de lumière naturelle et une bonne aération.



Quartier d'habitation  
Zurlinden, Sihlfeld, Zurich  
Architectes: Bischoff &  
Weideli, 1919



3, 4

A peu près à la même époque, on a vu naître des sortes de cités-jardins, inspirées des conceptions développées en Grande-Bretagne. Cela donnait des groupes de maisons mitoyennes (p.ex. les maisons de l'architecte Bernoulli à Zurich) ou des quartiers de maisons avec jardin, toutes identiques, possédant plusieurs étages, en ordre séparé ou en ordre contigu (sous forme de courtes barres).



Maisons individuelles:  
Hardturmstrasse, Zurich  
Architecte: Hans Bernoulli  
1924-1928

5

Contrairement aux immeubles construits en îlots, cet habitat est beaucoup plus flexible sur le plan urbanistique. Cette forme architecturale plus ouverte permet de dégager des percées visuelles entre les immeubles et assure une bonne ventilation des espaces extérieurs entourant les maisons du quartier.



Quartier d'habitation Riedtli  
Oberstrass, Zurich  
Architecte: F. W. Fissler  
1912-1919

6

Pourtant, ces bâtiments ressemblent encore beaucoup aux barres d'habitation qui les ont précédés: architecture massive, façades crépies, toitures en croupe souvent imposantes, plan des logements. On sent aussi l'influence des villas bourgeoises de la Gründerzeit (période d'expansion économique de la fin du 19<sup>e</sup> siècle), qui ont été réinterprétées sous la forme d'immeubles locatifs.

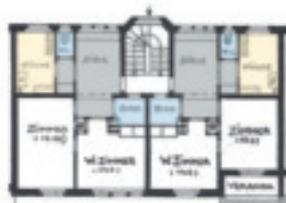
### Années '30

Au début des années 1930, on voit se développer de nouveaux modes et matériaux de construction, tels que le béton coulé sur place ou les structures en acier. Ces techniques permettent d'allonger les portées, de réaliser des encorbellements ou d'agrandir les fenêtres dans leur largeur. Au commencement, seule l'apparence extérieure des bâtiments s'en ressent. Plus tard, les architectes modifieront également la structure interne des bâtiments pour se rapprocher toujours plus explicitement des conceptions idéales de l'habitat selon les Modernes.

Ces derniers insistent sur les apports de lumière naturelle, de soleil et de bon air (cf. Giedion et ABC). On voit alors se développer des espaces extérieurs habitables et des logements en communication directe avec l'extérieur. Ces questions sont considérées comme vitales, incontournables. Ces nouvelles valeurs conduisent les architectes à intégrer au corps des bâtiments des balcons, soit en niches, soit en encorbellement, ou encore des loggias largement vitrées. Les fenêtres s'équipent de vantaux basculants ou de petites ouvertures facilitant l'aération. Des appartements en attique sur des toits plats, des toitures-terrasses ou des toitures-jardins font leur apparition.

Le plan des logements évolue, lui aussi, abandonnant les structures connues. On assiste à une réinterprétation notamment des relations entre espace à vivre et coin à manger.

Les architectes se sont ingéniés à offrir une orientation optimale à toutes les pièces et espaces habitables. Ils inventent de nouveaux types de bâtiments, par exemple incurvés, avec une subdivision horizontale en compartiments.



*Oberstrass, Zurich*  
*Architecte: F. W. Fissler*  
*1912-1919*



7, 8

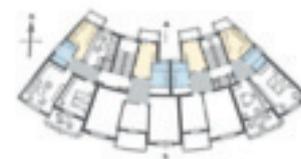


*Immeuble d'habitation*  
*«Pax»*  
*Lugano*  
*Architecte: Augusto Guidini*  
*1934*

9



*Casa «Rotonda»*  
*Lugano-Besso*  
*Architectes: Hans et Silvia Witmer-Ferri*  
*1936*



10, 11

Une telle expression architecturale fait d'ailleurs écho à la dynamique sociale et économique de l'époque. On construit alors des villas urbaines entourées de leur jardin ou en ordre contigu. Toutefois, dans les quartiers périphériques des villes, on voit également apparaître des quartiers entiers de maisons accolées répondant au nouveau langage de l'architecture moderne, mais aussi de longues barres d'immeubles à plusieurs étages. Comme exemple marquant de l'architecture expressionniste inspirée du mouvement allemand Werkbund, on peut citer notamment le quartier de Neubühl à Zurich Wollishofen, datant des années 1931-32.

## Années '40

Dans les années 1940, marquées par la raréfaction des matériaux et des ressources en raison de la guerre, les architectes simplifient au maximum les formes des bâtiments. Les immeubles d'habitation de cette période offrent des logements très restreints en surface. Les bâtiments sont construits en maçonnerie massive, avec des portées de dalles ou de poutres d'étage aussi réduites que possible. Les toits sont à deux pans, avec une pente faible. Souvent, on renonce à excaver les immeubles. Les aménagements intérieurs sont réduits à leur plus simple expression. On continue à construire des immeubles en barres à un ou deux appartements par étage autour d'une cage d'escaliers, mais on voit apparaître aussi des immeubles à galerie d'accès extérieure.

## Années '50 et '60

On commence à voir, dans les années 1950, une véritable explosion du plan des logements ou des formes de bâtiments. Cette tendance marquera surtout le début des années 1960. L'ascenseur devient un élément standard du bâtiment. Par conséquent, il devient nécessaire d'organiser le plus de logements possibles autour d'une seule cage d'escaliers. Les corps de bâtiments deviennent plus profonds. De nouvelles formes architecturales voient le jour : bâtiments en Y, bâtiments ponctuels couplés ou à plan complètement éclaté. Sortent de terre les premiers immeubles-tours, qui répondent aux nouvelles normes d'urbanisme. La plupart de ces immeubles sont caractérisés par des empilements d'appartements tous semblables, et par des gaines techniques verticales traversant tous les étages de bas en haut.



14

*Tour d'habitation  
Alfred-Strebel-Weg, Zurich, 1960-62  
Architectes: F. Hodler, E. Nuesch, G. del Fabro, B. Gerosa*



12

*Quartier d'habitation Triemli, bâtiments linéaires  
en escalier, Zurich, 1945  
Architectes: K. Egender et W. Müller*



13

*Ensemble d'habitation Burriweg  
Immeuble à galerie d'accès extérieure (plan)  
Schwamendingen, Zurich, 1948  
Architectes: H. Hubacher et A. Mürset*



15

La ville se dote de nouveaux repères sous la forme d'immeubles-barres élevés, solitaires sur leur parcelle. Les quartiers périphériques voient se développer à la fois des barres relativement basses et des immeubles-tours. Le paysage urbain est animé par ces tensions entre le bâti et des espaces de verdure largement dimensionnés. En plus des logements destinés aux familles, comportant 4 à 5 pièces, les petits appartements de 1 ou 2 pièces se généralisent. De plus en plus souvent, la cuisine se réduit à un laboratoire fermé, dépourvu de coin à manger (ou bien ce dernier est réduit à sa plus simple expression). Les salles de bains se généralisent et forment avec les cuisines des groupes d'équipements fonctionnels. A la fin des années 1950 et au début des années 1960, on voit apparaître de nouvelles formes d'habitations, telles que les maisons en terrasses ou de grands ensembles de maisons groupées, construites selon la méthode des murs de refend porteurs (Schottenbauweise). Entre 1955 et 1961, l'Atelier 5 a développé le célèbre quartier de Halen, dans la périphérie de Berne. L'innovation consistait non seulement à inventer une nouvelle forme d'habitat, mais aussi un nouveau rôle imparti aux copropriétaires. Le quartier a été conçu et réalisé selon des démarches participatives, qui imprègnent la vie du quartier encore aujourd'hui.

## Années '60

Pendant les années fastes de haute conjoncture, de véritables cités satellites ont vu le jour dans la périphérie des villes d'une certaine importance. Elles atteignent des dimensions extrêmes – plus jamais reproduites par la suite. Il s'agissait, pour les architectes, de répondre à la croissance démographique exponentielle caractérisant certaines régions. De nouvelles solutions techniques doivent être mises en œuvre permettant de travailler selon des processus industrialisés. Cela a permis de réaliser d'énormes ensembles, tels que le Tscharnegut à Berne (1958-61), le Grüzfeld à Winterthur (1965-68), ou encore la Cité du Lignon à Genève (1963-71). Les éléments de construction sont standardisés, et peuvent être préfabriqués en séries. Cela simplifie les processus de construction, ce qui se répercute favorablement sur les coûts.



*Quartier de Halen  
Herrenschwanden  
Architectes: Atelier 5  
1955-1961*

16



*Ensemble «Grüzfeld»  
Winterthur  
Architectes: Claude Paillard et Peter Leemann  
1965-1968*

17



*Cité du Lignon  
Commune de Vernier (près de Genève)  
Architectes: Georges Addor, Jacques Bolliger,  
Dominique Julliard, Louis Payot  
1963-1971*

18

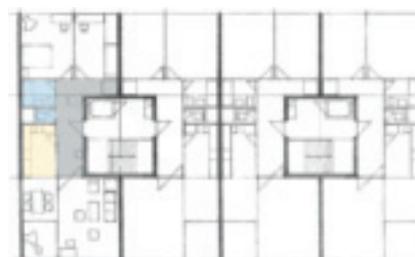
Dans ces grands ensembles urbanistiques, les architectes s'efforcent de conserver la dimension humaine à petite échelle, en soignant les proportions des corps de bâtiments et en différenciant les matériaux utilisés. Le résultat se manifeste à l'extérieur par une qualité architecturale souvent remarquable, et à l'intérieur, par une typologie des logements qui répond aux nouveaux besoins des habitants. Bien que mesurés au plus juste, les logements offrent des espaces assez généreux, puisque les séparations entre les pièces dédiées au séjour, aux repas et à la cuisine tendent à disparaître, ce qui crée des espaces utilisables de manière flexible<sup>6</sup>. Les habitants veulent aussi bénéficier de la belle vue sur la campagne environnante, ce qui incite les architectes à prévoir des façades entièrement vitrées.

### Années '70

Dans les années 1970 également, la question de la densification du tissu bâti est d'actualité dans les villes. C'est ainsi qu'on voit s'élever un peu partout des quartiers de tours ou encore des quartiers de maisons individuelles toutes pareilles formant de grands ensembles articulés en lignes brisées. Ces nouveaux bâtiments se distinguent par leur expression cubiste. Leur plan et le modelage de leurs différents éléments construits montrent que les espaces intérieurs retrouvent une utilisation très spécifique. On abandonne le besoin de polyvalence des locaux, pour chercher principalement à différencier à l'extrême les espaces. En d'autres termes, chaque habitant se réserve maintenant une pièce spéciale ou un coin particulier pour les différentes activités exercées dans la journée: rencontre, lecture, cuisine, travail professionnel, sommeil. Chaque local ou espace est dimensionné en conséquence, et caractérisé par un ameublement libre ou encastré adapté à sa fonction.



19



20

*Cité du Lignon*  
Commune de Vernier (près de Genève)  
Architectes: Georges Addor, Jacques Bolliger,  
Dominique Julliard, Louis Payot  
1963-1971



21



22

*Quartier d'habitation Heuried*  
Alt-Wiedikon/Sihlfeld, Zurich  
Architectes: Claude Paillard et Peter Leemann  
1974-1975

<sup>6</sup> Cf. également: Giulia Marino, «Le Lignon - Monument der späten Moderne» (Le Lignon, monument des Modernes tardifs, en allemand) in: *Tec 21*, cahier 24/2013, pp. 16 à 20.

A la même époque, on voit aussi parfois se construire des groupes de logements très différents les uns des autres, rassemblés dans un grand immeuble formant des Unités d'habitation (au sens de Le Corbusier). Ces bâtiments se caractérisent par des formes de logements limpides et par un soin particulier apporté aux structures et aux façades exprimées en béton apparent. Dans la zone d'attraction des villes moyennes à grandes, sur le flanc des collines, on retrouve les maisons en terrasses déjà inaugurées au début des années 1960, qui marquent le paysage.

### Années '80 et '90

Les années 1980 et 1990 sont marquées par une grande différenciation des formes d'expression sociale, dont s'inspire l'architecture des quartiers d'habitation.

Le paysage urbain est marqué par des immeubles aux formes géométriques bien typées, telles que carrés, ronds, ellipses, que l'on retrouve non seulement dans le plan des logements, mais même dans leur élévation. Comme la société a tendance à s'individualiser, les architectes cherchent à rassembler sous le même toit des logements de tous types. Ils développent de nouveaux types de bâtiments, dans lesquels ils marient et superposent des appartements sur un étage, desservis par des cages d'escaliers intérieures, avec des logements individuels en duplex, accessibles par des galeries extérieures. Le plan des logements lui-même se diversifie fortement, même si l'architecte doit parfois sacrifier la qualité des espaces intérieurs pour se mouler dans la forme générale de l'immeuble.

Mais la crise immobilière du début des années 1990 oblige les concepteurs à revenir à des formes de bâtiments plus simples. Cette époque se distingue alors par le retour aux éléments préfabriqués (notamment pour les façades) et à la simplification extrême des aménagements intérieurs – jusqu'à proposer des appartements à «l'état brut».



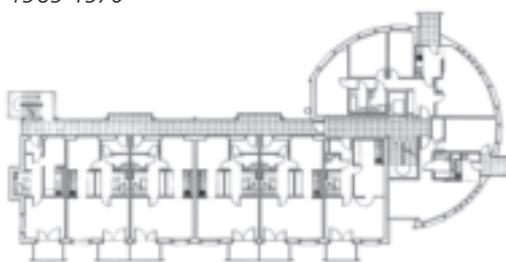
*Maisons en terrasses Pfaffenziel*  
Untersiggenthal AG  
Architecte: Robert Frei  
1962-1963

23



*Quartier d'habitation Unteraffoltern II*  
Affoltern, Zurich  
Architecte: Georges P. Dubois  
1969-1970

24



25



*Immeuble d'habitation de la Ville de Lausanne*  
Lausanne  
Architectes: Guy Collomb, Marc Collomb, Patrick Vogel  
1985

26



27

*Quartier de Manessehof  
Alt-Wiedikon/Sihlfeld, Zurich  
Architectes: ARCOOP Ueli Marbach et Arthur Rüegg  
1984*



28

*Quartier du Rütihof  
Höngg, Zurich  
Architectes: Metron AG  
1996-1997*

## Résumé

Ce survol de la construction de logements au cours des cent dernières années permet de se rendre compte de l'étonnante variété de bâtiments et de types de logements existant en Suisse. Toutefois, à travers cette extrême diversité de formes architecturales, on peut déceler des parentés entre quartiers ou entre types de maisons. Ils ont en commun le fait d'exprimer souvent directement les valeurs de leur époque de construction.

Conception de l'espace, modes de construction, matériaux mis en œuvre sont étroitement corrélés, ce qui contribue fortement à augmenter la qualité de vie des habitants et à marquer l'identité du lieu. «Toute intervention sur l'existant nécessite un projet architectural ad hoc qui tient compte des spécificités historiques et matérielles de chaque objet: relevé, documentation, diagnostic, décision projectuelle. La méthode encadre un processus qui se renouvelle à chaque fois en raison des particularités du bâtiment étudié.»<sup>7</sup>

<sup>7</sup> Christian Bischoff, «A tout titre extraordinaire» (Dialogue avec Giulia Marino et Franz Graf du Laboratoire des techniques et de la sauvegarde de l'architecture moderne [TSAM] à l'EPFL, autour de la rénovation des façades de la Cité du Lignon), in: Heimatschutz Patrimoine, Zurich: Schweizer Heimatschutz/Patrimoine suisse, cahier 2/2013, p. 15.

# Stratégies pour des solutions

## Deux thèses sur les relations entre la qualité de l'espace et la qualité de l'air

Il faut distinguer deux situations: la construction de bâtiments nouveaux et la rénovation de bâtiments existants. Dans le premier cas, il est possible d'intégrer les systèmes de ventilation dès le début de la conception du bâtiment, ce qui pourra influencer le choix de sa structure ou celui des matériaux. Dans le second, les contraintes constructives ou spatiales du bâtiment compliquent singulièrement l'intégration de nouveaux éléments techniques. Les concepteurs ne disposent pratiquement d'aucune aide à la décision pour choisir des systèmes de ventilation atypiques. Or, l'intégration de systèmes connus de ventilation forcée contrôlée entre souvent en conflit avec le respect d'une substance bâtie de grande valeur architecturale.

Il arrive souvent que l'aspect des pièces soit complètement dénaturé par l'ajout de systèmes techniques qui ne sont conçus que sur des critères énergétiques.

Le présent document a précisément pour but de proposer des stratégies d'aération adaptées à la rénovation des bâtiments d'habitation. Ces stratégies se fondent sur l'analyse de la structure des espaces intérieurs et de leur capacité à intégrer des infrastructures techniques.

Les auteurs se basent sur les deux thèses suivantes:

### ○ Prise en compte des circonstances locales

La question du renouvellement de l'air dans des bâtiments existants peut se résoudre intelligemment en s'appuyant sur des principes de base qui traitent de l'intégration d'une infrastructure technique dans une structure spatiale intérieure donnée, et ce, indépendamment du système d'aération spécifique. En appliquant ces principes, le concepteur saura quand et comment intervenir sur l'édifice. Pour déterminer la marge de manœuvre qu'offre chaque solution potentielle, il devra avoir fixé clairement les objectifs principaux de l'opération et avoir analysé soigneusement les circonstances

locales. Pour avoir une idée de ce qu'il est possible de faire avec les moyens disponibles, il se basera sur le contexte urbanistique où se trouve le bâtiment, sur les paramètres extérieurs tels que les immissions de bruit ou d'odeurs, et enfin sur le bâtiment lui-même. Quant à ce dernier paramètre, l'architecte ne devra pas seulement se faire une idée sur l'état général du bâtiment, et évaluer sa valeur architecturale et patrimoniale, mais surtout analyser sa structure interne et la qualité de son enveloppe.

### ○ Examen des alternatives

Si le but est d'assurer un renouvellement de l'air constant et contrôlé dans le bâtiment, malgré le fait que son enveloppe soit de plus en plus étanche à l'air, il est bon de ne pas se contenter d'examiner seulement des solutions purement techniques. Au contraire, il faut garder à l'esprit que des solutions alternatives sont possibles, qui ne consomment parfois que très peu d'énergie, voire fonctionnent sans apport d'énergie. Pour cela, l'architecte doit avoir préalablement intégré les principes de base de l'apport d'air frais, du traitement de l'air amené et de la distribution fine de l'air dans les pièces.

## Niveaux d'analyse

Par expérience, les auteurs du présent document ont constaté que la problématique de l'aération des locaux dans les bâtiments existants nécessite une réflexion sur les quatre niveaux suivants:

Contexte | Bâtiment | Logement | Éléments de construction

# Niveau 1: contexte

Au premier niveau, il faut examiner les conditions extérieures du bâtiment et se demander comment elles influencent le choix d'un système de ventilation – qu'il soit naturel ou mécanique. En d'autres termes, il s'agit d'analyser et d'évaluer le contexte à grande et à petite échelle, mais également de chercher, pour le bâtiment ou pour tout le quartier, des stratégies à moyen et long terme pour favoriser la ventilation. Le concepteur se posera en premier lieu les questions suivantes:

## Nécessité ou urgence de trouver une solution de ventilation mécanique

Est-ce que, pour assurer une bonne qualité de l'air dans les pièces, les conditions extérieures (immissions excessives de bruit, pollution de l'air ou odeurs) obligent à prendre des mesures actives, telle qu'un système de ventilation mécanique?<sup>8</sup>

Si oui, est-ce que tous les bâtiments du quartier ou tous les appartements de l'immeuble sont concernés de la même manière?

Est-ce possible d'identifier ou de délimiter des sous-secteurs où une telle intervention n'est pas nécessaire?

Pour ce faire, on peut se baser sur les deux sources d'information suivantes:

D'une part, le type d'emplacement, tel que défini par le Réseau national d'observation des polluants atmosphériques (NABEL), ce qui permet de se faire une première idée des immissions présentes. Ces types sont les suivants:



Ces indications permettent d'identifier grossièrement la charge à laquelle est exposé un bâtiment d'habitation ou un quartier. D'autre part, la situation particulière du bâtiment renseigne sur l'exposition des logements à petite échelle. Par exemple, la qualité de l'air est bien meilleure si les fenêtres s'ouvrent sur une cour intérieure ou si la façade est située loin de la route, que lorsque les fenêtres donnent sur une route passante. En général, plus l'on s'éloigne d'une route à grande circulation, et plus l'on monte dans les étages, plus la qualité de l'air s'améliore.<sup>9</sup>

Ce constat peut inciter le concepteur à choisir différents systèmes de ventilation au sein du même quartier. On peut citer l'exemple de la cité-jardin Riedtli en ville de Zurich, datant des années 1910 et reconnue comme monument historique. Seules les maisons orientées vers une rue à forte circulation ont été équipées d'un système de ventilation contrôlée. Toutes les autres maisons ont conservé leur système d'aération traditionnel, basé sur l'ouverture manuelle des fenêtres – comme le demandaient les habitants.<sup>10</sup>

*Répartition locale des immissions d'après les données du Réseau national d'observation des polluants atmosphériques (NABEL), géré par l'Empa sur mandat de l'OFEV*

29

<sup>8</sup> Les valeurs limites admissibles pour le bruit extérieur dans les bâtiments d'habitation sont définies de manière contraignante dans l'ordonnance fédérale sur la protection contre le bruit (OPB) et dans la norme SIA 181. De plus, la norme SIA 382/1 contient des exigences relatives aux prises d'air neuf et aux sorties d'air rejeté. (cf. norme SIA 181 Protection contre le bruit dans le bâtiment, et norme SIA 382/1 Installations de ventilation et de climatisation – Bases générales et performances requises).

<sup>9</sup> Cf. Jörg Selg, Schlussbericht «Beurteilungsgrundlagen Lüftung, Befeuchtung und Kühlung (B-LBK)» (Rapport final intitulé Aération, humidification et refroidissement, en allemand), Ville de Zurich: Office des immeubles (AHB), novembre 2010, p. 12.

<sup>10</sup> Cf. dépliant: Wohnsiedlung Riedtli, Wohnungserneuerungen und Umfeld, 2003 bis 2008 (Quartier Riedtli: rénovation des bâtiments d'habitation et des espaces extérieurs entre 2003 et 2008 (en allemand) (Source: Ville de Zurich, Office des immeubles).

## Durée de vie d'un bâtiment et opportunité économique

Quelle est la durée de vie escomptée d'un bâtiment? Est-ce que le propriétaire a l'intention de maintenir un bâtiment ou tout un quartier sur le long terme? A-t-il en vue d'entreprendre des rénovations lourdes, p.ex. en réunissant des appartements pour en faire de plus grands? Si tel est le cas, cela ouvre des perspectives plus larges pour entreprendre des modifications structurelles. Ou bien a-t-il au contraire l'intention de remplacer les bâtiments existants par de nouveaux bâtiments au cours des dix prochaines années? A ce moment-là, il n'est peut-être pas judicieux d'envisager de gros investissements. Quels sont les cycles de vie des différents éléments du bâtiment? Quelles sont les étapes de rénovation? Quelles mesures doivent être prises, dans quel ordre? Est-il possible de combiner plusieurs mesures? Comment le propriétaire souhaite-t-il à l'avenir positionner l'objet sur le marché immobilier du logement?

## Valeur architecturale et patrimoniale / identification

Peut-on identifier des critères qui tendraient à conserver intégralement le patrimoine bâti, sans modification de la substance (p.ex., contraintes posées par les Monuments et sites, qualités volumétriques des pièces particulièrement intéressantes, ou encore traitements de surface intérieurs ou extérieurs à conserver)? Si l'on envisageait de grosses interventions de rénovation ou de transformation, est-ce que la qualité des logements en pâtirait? Ou est-ce que la valeur patrimoniale du bâtiment serait diminuée? Ou, au contraire, de telles interventions – parfois profondes dans certaines parties du bâtiment – contribueraient-elles à améliorer les qualités architecturales de l'immeuble, ses possibilités d'utilisation ou la qualité de vie des habitants (dimension sociale de la durabilité)?

## Niveau de confort visé et comportement des utilisateurs

Quel type de confort cherche-t-on à atteindre – notamment en ce qui concerne la qualité de l'air intérieur? Quels sont les moyens que l'on veut investir pour cela? Faut-il chercher des solutions qui laissent la plus grande liberté de gestion possible pour les occupants des logements? Ou au contraire, des solutions indépendantes des utilisateurs? Peut-on raisonnablement faire l'hypothèse que les habitants sont au fait des règles à respecter avec un système de ventilation forcée, et appliquent ces règles en réalité?

## Standard énergétique visé et bilan énergétique global

Est-ce que le propriétaire vise à atteindre un certain standard ou à décrocher un label pour lequel il est incontournable d'installer un système de ventilation contrôlée?

Quelle place accorde-t-on au bilan énergétique global, p.ex. en se basant sur le document «La voie SIA vers l'efficacité énergétique»<sup>11</sup>?

Est-ce qu'on veut tenir compte de l'énergie grise nécessaire notamment pour fabriquer les différents composants du système de ventilation ou entreprendre les modifications nécessaires sur le bâtiment? Accorde-t-on à l'énergie grise la même importance qu'à l'énergie nécessaire pour l'exploitation des installations?

En répondant à ces questions et en pondérant les différents critères en fonction de l'objet étudié, il est possible de formuler les objectifs supérieurs d'un projet de rénovation et de définir des critères de décision prépondérants. Il s'agira ensuite de ne pas oublier de s'y référer au cours des opérations suivantes.

<sup>11</sup> Le cahier technique CT 2040, intitulé *La voie SIA vers l'efficacité énergétique montre comment on pourrait, si l'on se base sur une réflexion élargie, organiser la construction pour tendre vers la société à 2000 watts. Mis à part l'énergie nécessaire à l'exploitation du bâtiment, ce cahier considère aussi l'énergie grise et l'énergie nécessaire pour les déplacements des habitants ou utilisateurs. Il est fondé sur deux publications antérieures de la SIA: CT 2032 (Energie grise des bâtiments) et CT 2039 (Mobilité – Consommation énergétique des bâtiments en fonction de leur localisation). Il définit des valeurs-cibles pour trois catégories de bâtiments (habitations, bureaux et écoles), tant dans le cas de nouvelles constructions que dans celui de bâtiments soumis à rénovation ou à transformation. Pour la première fois, l'énergie grise et l'énergie nécessaire à la mobilité des personnes sont traitées sur pied d'égalité avec l'énergie d'exploitation du bâtiment.*

# Niveau 2: bâtiment

Sur ce deuxième niveau, il s'agit d'examiner de cas en cas comment intégrer les différents éléments d'un système de ventilation dans le bâtiment. Est-ce plus facile de les intégrer en façade (sur l'enveloppe) ou plutôt au cœur du bâtiment? En d'autres termes, il faut trouver où placer judicieusement chacun des composants du système et mettre au point une conception d'ensemble de la distribution d'air. Dans cette réflexion, le type de bâtiment joue un rôle majeur, mais il est bon d'examiner aussi les autres mesures de transformation envisagées. En effet, certaines interventions sur le bâti peuvent ouvrir de nouvelles possibilités d'intégration.

- ➔ Extraction d'air vicié
- ➔ Apport d'air frais
- Nouveau
- Appareil de ventilation

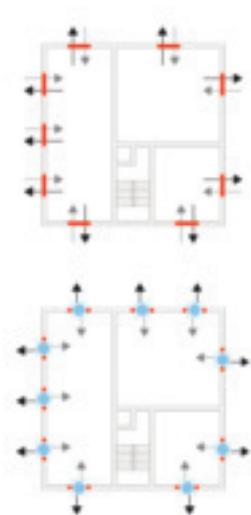
## Corrélations entre le type de bâtiment et le système de ventilation envisagé

Afin d'apporter plus facilement une réponse à ces questions, les auteurs ont identifié quatre principes fondamentaux à prendre en compte lorsque l'on veut intégrer un système de ventilation dans la structure d'un bâtiment existant. Ces principes sont indépendants de l'objet particulier. Ils traitent de diverses interventions possibles à différents endroits d'un bâtiment, interventions qui peuvent être plus ou moins radicales.

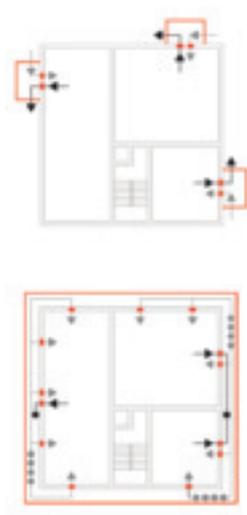
On retrouvera dans ces quatre catégories les différentes solutions d'aération ou de ventilation bien connues, qui vont de la simple ouverture manuelle des fenêtres et des systèmes de ventilation naturelle d'un bâtiment jusqu'aux systèmes techniques sophistiqués qui assurent un renouvellement de l'air et une régulation de l'humidité des pièces tout à fait indépendants des utilisateurs.

Dans les pages qui suivent, les auteurs développent ces quatre principes en les illustrant d'exemples tirés de la pratique. Ils expliquent également quelles sont les marges de manœuvre disponibles et présentent les possibilités d'innovation dans certains domaines.

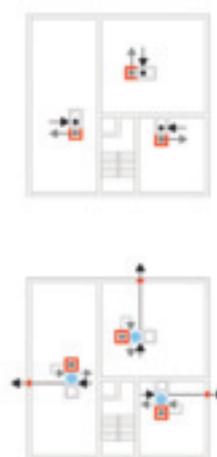
Enveloppe / perforation



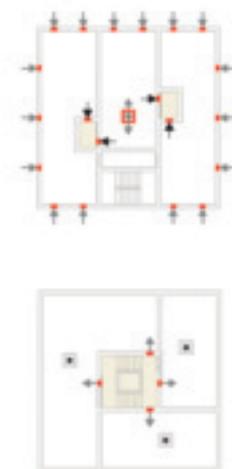
Enveloppe / addition



Coeur / addition



Coeur / locaux dédiés



4 principes régissant la double prise en compte de l'espace et des infrastructures dans la problématique de l'air

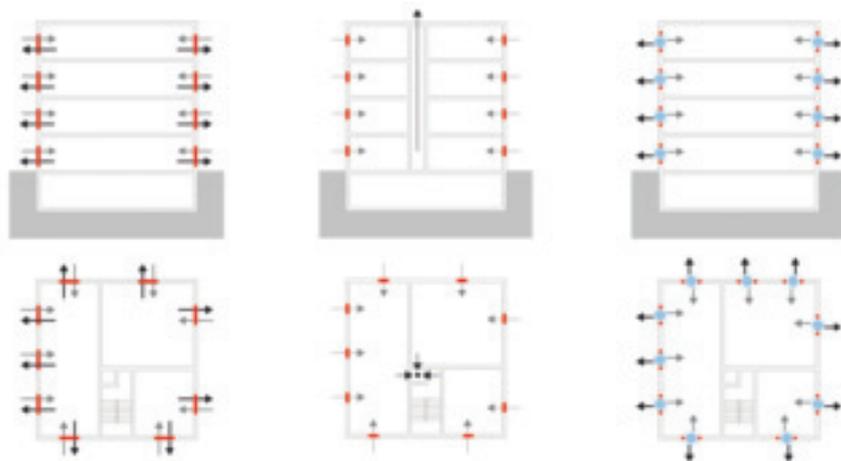
## Principe 1: enveloppe / perforation

Le principe en bref

On peut classer sous ce principe les solutions les plus diverses: aération simple par les fenêtres par ouverture manuelle ou automatique, éléments de ventilation avec ou sans récupération de chaleur, intégrés soit en façade, soit sur les fenêtres elles-mêmes. Ce principe est basé sur la perforation de l'enveloppe à des endroits choisis.

L'ouverture peut être soit temporaire, soit permanente.

Elle permet d'introduire de l'air frais ou d'extraire de l'air vicié.



### Enveloppe / Perforation

#### Types 1 à 3

- aération par les fenêtres (manuelle ou automatique)  
- ouvertures intégrées à la façade ou dans les fenêtres, sans récupération de chaleur

- l'air vicié est évacué par des cheminées ou puits d'aération existants, au moyen d'un système commandé par un capteur de CO<sub>2</sub> ou une sonde hygrométrique.

- l'air frais est aspiré par dépression à travers des clapets situés dans les fenêtres ou en façade

- éléments ou appareils de ventilation équipés ou non de systèmes de récupération de chaleur

Etant donné que toutes les opérations (prise, traitement et diffusion de l'air) se font pratiquement au même point, sur la façade ou dans la fenêtre, ces systèmes ne nécessitent pas de grandes transformations (pas de gaines techniques, pas de canaux de distribution). Même la prise d'air vicié et sa bouche d'évacuation sont en général situées directement sur la façade. On trouve aussi des solutions mixtes, où l'air vicié est évacué par des installations existantes – p.ex. des systèmes internes d'aspiration dans les locaux sanitaires – et où l'air frais est aspiré par dépression par des ouvertures placées dans le cadre des fenêtres (système installé de série sur les nouvelles fenêtres, et à monter spécialement sur les cadres en place des fenêtres existantes).

Conditions et critères d'application:

- Il est envisageable de procéder à des interventions ponctuelles en façade ou dans le cadre des fenêtres.
- A l'intérieur du bâtiment, il n'est pas possible – ou souhaitable – de procéder à des modifications structurelles ou spatiales, ou alors, seules des interventions minimales sont admissibles.
- Ce principe est particulièrement bien adapté aux locaux exigus ou aux pièces à hauteur de plafond réduite.
- Il est judicieux pour les immeubles très hauts, car il n'y a pas besoin d'installer des gaines et des canaux de distribution.

- Il est indiqué pour tous les bâtiments inscrits dans un inventaire ou protégés à titre de monuments historiques, car les interventions peuvent être minimales, voire inexistantes, suivant le système choisi.
- Il convient particulièrement si les fenêtres devaient de toute façon être remplacées, et qu'elles sont en nombre suffisant. Des solutions adaptées à chaque situation peuvent être trouvées pour intégrer les ouvertures dans le cadre des fenêtres.
- De telles mesures peuvent parfois n'être prises que dans certains secteurs (p.ex. sur une façade particulièrement exposée au bruit).
- Un tel système est gérable par les habitants eux-mêmes, s'ils le souhaitent.

Inconvénients ou difficultés d'application:

- En cas d'automatisation, il faut amener le courant électrique à chaque point.
- La multiplication des appareils entraîne des frais de maintenance assez élevés (2 filtres par appareil).
- L'impact visuel des ouvertures sur les façades extérieures ou sur les faces intérieures des murs extérieurs peut être assez marquant suivant le système choisi.
- Si la variante choisie ne prévoit pas de traitement de l'air capté, il est nécessaire que l'air extérieur soit de bonne qualité.
- Toutes les variantes non automatisées présupposent que les utilisateurs se sentent responsables de leur gestion manuelle.

Le lecteur trouvera des informations plus détaillées sur les différents composants et sur les possibilités d'intégration au niveau d'analyse 4 (catalogue des éléments de construction, p. 28).

Marge de manœuvre et perspectives d'innovation:

- Développement de systèmes de ventilation naturelle obéissant à ce principe, tels que la perforation ciblée de l'enveloppe par des éléments équipés d'un échangeur de chaleur basé sur une technologie simple fonctionnant par différence de pression, autrement dit, par gravité<sup>12</sup>.



32, 33,  
34

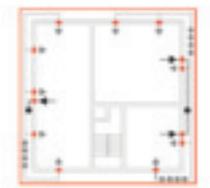
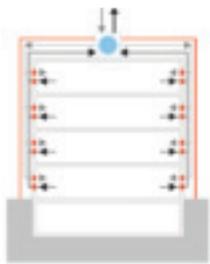
Rénovation d'une tour d'habitation selon les critères de la société à 2000 watts, Sihlweid, Zurich, éléments d'aération intégrés dans les fenêtres, comprenant un échangeur de chaleur

<sup>12</sup> Lors de l'année scolaire 2000/2001, la section Technique et architecture de la Haute école des sciences et des arts appliqués de Lucerne a développé, sous la direction du professeur Paul Hugentobler, un dispositif d'aération décentralisé avec échangeur de chaleur fonctionnant selon le principe de la gravité. Un prototype a été construit, appelé Raumlunge (poumon de chambre). Ce nouvel élément peut être considéré comme un système de ventilation à part entière. Il représente une solution intermédiaire entre l'aération par ouverture manuelle des fenêtres et les systèmes intégraux d'aération contrôlée. Il fonctionne sans poser de problèmes d'hygiène et respecte les principes de la construction écobio-écologique. Ne nécessitant pas d'énergie externe, il apporte de manière continue de l'air neuf préchauffé par l'air extrait et fonctionne selon les lois naturelles régissant les flux d'air. La force nécessaire pour la circulation de l'air provient de la différence de niveau entre l'entrée et la sortie de l'air ainsi que du phénomène de la convection thermique. L'appareil, qui peut être intégré à la façade du bâtiment, est composé de deux canaux distincts mais en contact l'un avec l'autre. L'un sert à amener de l'air neuf depuis l'extérieur, le second à évacuer l'air vicié. La surface de contact entre les deux canaux sert d'échangeur de chaleur permettant de transférer à l'air entrant une partie de la chaleur de l'air sortant. (...) Les ouvertures d'entrée et de sortie d'air sont visibles sur la façade de l'immeuble et sont équipées d'un grillage fin retenant les insectes. Du côté interne, dans la pièce, les fentes d'aération peuvent être munies d'un clapet de protection. (tiré de: Stäger + Nægeli AG, Fenster + Fassadentechnik, Zurich; octobre 2004).

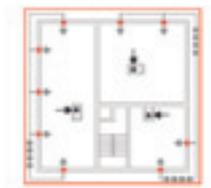
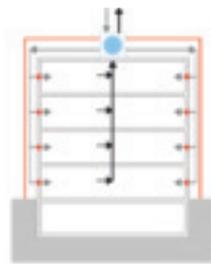
## Principe 2: enveloppe / addition

Le principe en bref

Ce principe cherche à combiner les éléments de distribution nécessaires à l'aération avec d'autres mesures planifiées sur l'enveloppe du bâtiment. L'enveloppe est complétée par des éléments ou par des espaces où l'air peut circuler. Ces espaces peuvent être des interstices de quelques centimètres de largeur ou des locaux utilisables. Les solutions répondant à ce principe peuvent être, d'une part, des systèmes centraux de ventilation placés en sous-sol ou sur le toit et qui alimentent le bâtiment en air frais par des canaux intégrés à l'enveloppe ou placés dans des annexes ajoutées au bâtiment.



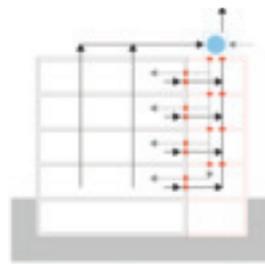
- Centrale de ventilation (située p.ex. sur le toit) avec canaux d'amenée d'air frais et d'évacuation de l'air vicié intégrés à l'enveloppe



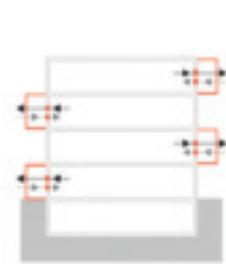
- Centrale de ventilation (située p.ex. sur le toit) avec canaux d'amenée d'air frais et d'évacuation de l'air vicié intégrés à l'enveloppe  
- Evacuation de l'air vicié par des cheminées ou puits d'aération internes existants

Conditions et critères d'application:

- Le programme de rénovation prévoit l'assainissement complet de l'enveloppe ou bien il est envisageable de transformer notablement les façades.
- A l'intérieur du bâtiment, il n'est pas possible – ou souhaitable – de procéder à des modifications structurelles ou spatiales, ou alors, seules des interventions minimales sont admissibles.
- Ce principe est particulièrement bien adapté aux locaux exigus ou aux pièces à hauteur de plafond réduite.
- Ces solutions sont indiquées pour les très hauts bâtiments, car elles ne nécessitent pas forcément la construction de gaines et de canaux de distribution d'air – qui consomment beaucoup d'espace intérieur.



- Centrale de ventilation avec canaux d'amenée d'air frais dans une annexe (p.ex. en combinaison avec une cage d'ascenseur ou des extensions de logements)  
- Canaux d'évacuation de l'air vicié situés soit dans la partie ancienne, soit dans la partie nouvelle du bâtiment



- Adjonction d'éléments de façade permettant d'intégrer les bouches d'amenée d'air frais ainsi que les bouches d'évacuation de l'air vicié

35

### Enveloppe / Addition

#### Types 1 à 4

D'autre part, on trouve aussi des systèmes plus rarement utilisés, qui gèrent la circulation de l'air au travers d'espaces intermédiaires, tels que fenêtres à caissons ou jardins d'hiver. Ces espaces peuvent s'ouvrir vers l'intérieur et vers l'extérieur.

La circulation de l'air est assurée par des ventilateurs ou par gravité (différence de pression). De la même façon que pour le premier principe, on trouve ici des systèmes mixtes qui combinent de nouveaux éléments avec des installations existantes.

- Elles se laissent facilement combiner avec les autres mesures d'isolation entreprises sur l'enveloppe.
- Elles peuvent aisément s'articuler avec d'autres éléments, tels que l'adjonction d'un nouvel ascenseur ou l'extension de la surface des logements.
- Elles peuvent correspondre à l'application de mesures de protection contre le bruit et/ou à la transformation de balcons en jardins d'hiver ou en loggias fermées.
- De telles mesures peuvent parfois n'être prises que dans certains secteurs (p.ex. sur une façade particulièrement exposée au bruit).

Inconvénients ou difficultés d'application:

- L'aspect des bâtiments est considérablement modifié par des adjonctions importantes.
- De telles mesures sont en général assez chères.
- Ces adjonctions à la façade ne sont pas toujours admissibles sur le plan légal (elles peuvent déborder sur les alignements ou restreindre trop la distance minimale entre bâtiments. Elles risquent donc de ne pas être autorisées).
- Si le bâtiment dispose d'une installation centrale de ventilation, de grands canaux d'évacuation d'air sont nécessaires. La part d'énergie grise dans le bilan énergétique global est importante. Si l'on fait passer les canaux de ventilation dans la couche d'isolation extérieure, il arrive souvent que la qualité de l'isolation en pâtisse. Les travaux de pose doivent être effectués méticuleusement. Suivant la disposition des canaux, il peut arriver que les odeurs circulent d'une pièce à l'autre.
- Les installations centralisées ne sont en général pas gérables par les habitants eux-mêmes, ou alors seulement dans une mesure très limitée.

Le lecteur trouvera des informations plus détaillées sur les différents composants et sur les possibilités d'intégration p. 28 et suivantes.



36

Centrale de ventilation avec canaux de ventilation intégrés dans l'isolation de la façade

Marge de manœuvre et perspectives d'innovation:

- Développement de solutions (partiellement) mécanisées pour des fenêtres à caisson ou d'autres locaux tampons, tels que balcons vitrés existants ou rajoutés, dans lesquels l'air extérieur peut se réchauffer ou se refroidir. De tels éléments peuvent aussi se combiner avec des mesures de protection contre le bruit<sup>13/14</sup>.
- Développement de panneaux à appliquer sur des façades existantes, comprenant une succession de couches. Ces éléments peuvent combiner la circulation de l'air et la récupération de chaleur.
- Développement d'éléments de façade qui n'assurent pas seulement la diffusion de la vapeur d'eau, mais «respirent» activement tout en offrant un excellent pouvoir isolant. De tels éléments pourraient se combiner avec des solutions axées sur le principe de perforation de l'enveloppe.
- Installation d'appareils de ventilation individuels (un par logement), à placer notamment dans des armoires murales ou autres éléments de mobilier situés dans des jardins d'hiver ou des loggias. De telles solutions permettraient de raccourcir le trajet des canaux d'apport d'air frais ou d'évacuation d'air vicié.



37

<sup>13</sup> Exemple: rénovation du quartier d'Amberg (D), architecte: Walter Unterrainer (A). Les apports d'air passent par de nouvelles fenêtres à caisson, tandis que l'extraction d'air utilise l'ancienne cheminée principale, convertie en conduit d'évacuation.

<sup>14</sup> Il est aussi possible de concevoir des systèmes de renouvellement d'air utilisant des espaces tampons à fonction thermique. M. Pierre Robert Sabady a conçu, dans les années 70, à Hälg près de Lucerne, une maison solaire écologique basée sur un tel système. M. Sabady définit plusieurs types d'espaces tampons, en distinguant les espaces internes et externes. Comme espaces tampons internes, il considère la cage d'escalier, les couloirs, la cave et le grenier. Quant aux espaces externes, ce sont la véranda (jardin d'hiver), le garage ou le local de bricolage. M. Sabady propose de dépasser la conception purement thermique des espaces tampons (permettant de réduire la consommation d'énergie), et de considérer ces volumes également comme des réservoirs d'air neuf préchauffé. L'architecte dispose ainsi d'une nouvelle marge de manœuvre, lui permettant d'alimenter les pièces habitables à partir de ces stocks bruts d'air extérieur portés à une température intermédiaire, suffisante pour être distribuée dans les pièces. (Cf. Christoph Wieser, «Einfach komplex» (simple mais complexe), in: Christian Hönger, Roman Brunner, Urs-Peter Menti, Christoph Wieser, *Das Klima als Entwurfsmoment* (L'atmosphère intérieure comme élément de conception architecturale, en allemand), Lucerne: Quart Verlag, 2009, p. 35).

### Principe 3: cœur / addition

Le principe en bref

L'application du principe 3 permet de ne guère toucher l'enveloppe du bâtiment, supposé qu'aucune autre mesure ne soit prévue pour améliorer cette dernière. L'air nécessaire pour assurer le confort des habitants est fourni par des gaines situées au cœur du bâtiment. Ces gaines d'apport d'air frais ou d'évacuation d'air vicié sont rassemblées en groupes et occupent soit des «cheminées» existantes, soit de nouvelles colonnes techniques à créer. Les systèmes techniques qui se réfèrent à ce principe sont de deux types:

- D'une part, les installations de ventilation centralisées amenant l'air frais dans chaque logement et extrayant l'air vicié par des canaux situés au cœur de la maison.

La centrale de ventilation est alors placée sur le toit, dans le galetas ou au sous-sol.

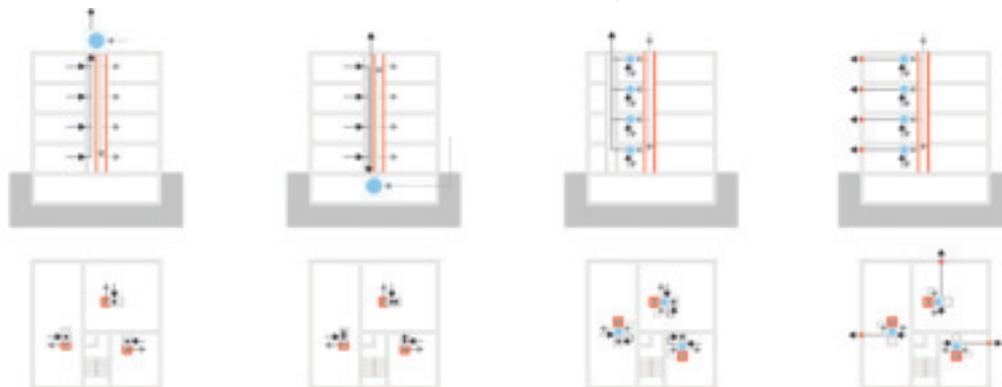
- D'autre part, les installations individuelles décentralisées, où l'air extérieur est amené par des canaux, et où l'air vicié est extrait de la même manière.

Dans les deux situations, la distribution de l'air frais à l'intérieur des logements peut se faire soit via des canaux, soit de manière libre. Dans ce dernier cas, on distingue les systèmes actifs (basés sur des ventilateurs) et les systèmes à circulation entièrement libre (cf. également explications relatives au niveau 3 Logement, pp. 26 et 27).

Conditions et critères d'application:

- Aucune intervention sur l'enveloppe n'est souhaitable ou planifiée, ou seulement des interventions minimalistes.
- Dans le meilleur des cas, il existe des cheminées d'évacuation d'air vicié réutilisables ou des gaines techniques verticales de réserve.
- Il est nécessaire de créer de nouvelles colonnes techniques à l'intérieur des logements, ou de rassembler toutes les gaines verticales dans la cage d'escaliers. Pour faciliter la création de nouvelles gaines techniques verticales, il est plus avantageux que les logements superposés soient identiques à tous les étages.
- De tels systèmes peuvent être facilement combinés avec d'autres mesures de rénovation, telles que la modernisation des cuisines et/ou des salles de bain ou le remplacement des conduites et canalisations.
- Ce principe est particulièrement adapté aux rénovations intégrales avec agrégation de plusieurs logements en un seul ou réorganisation complète des plans d'étage. Dans un tel cadre, il est relativement facile de créer de nouvelles gaines techniques verticales.
- Il faut disposer de suffisamment de place pour installer les appareils de ventilation, ou de possibilités de créer les adjonctions nécessaires.
- Il est souhaitable de soigner l'isolation phonique contre les bruits extérieurs.
- Il est presque incontournable de prévoir une bonne filtration de l'air (pour en retenir les polluants, les odeurs, les pollens, etc.).

Coeur / Addition  
Types 1 à 4



- Centrale de ventilation sur le toit (avec échangeur de chaleur)
- Pas de canaux ou cheminées nécessaires pour l'air frais ou l'air vicié
- Raccordement individuel des logements à des canaux d'amenée d'air frais ou d'évacuation d'air vicié situés à l'intérieur du bâtiment

- Centrale de ventilation sur le toit (avec échangeur de chaleur)
- Apports d'air frais arrivant en sous-sol, évt. à travers un puits canadien, évacuation de l'air vicié par des cheminées ou puits d'aération intérieurs
- Raccordement individuel des logements à des canaux d'amenée d'air frais ou d'évacuation d'air vicié situés à l'intérieur du bâtiment

- Postes de ventilation décentralisés (un par logement), avec échangeur de chaleur
- Amenée d'air frais et évacuation de l'air vicié par des cheminées ou puits d'aération intérieurs
- Place nécessaire pour l'appareil de ventilation dans chaque logement

- Postes de ventilation décentralisés (un par logement), avec échangeur de chaleur
- Amenée d'air frais et évacuation de l'air vicié par des cheminées ou puits d'aération intérieurs
- Evacuation de l'air vicié au moyen de canaux horizontaux apparents ou cachés dans un double plafond (le système inverse est aussi possible)

Inconvénients ou difficultés d'application:

- Il est nécessaire d'effectuer des travaux de transformation importants à l'intérieur des bâtiments, et de disposer de suffisamment d'espace pour créer les colonnes techniques verticales et installer les appareils. Cela peut conduire à la réduction de la surface habitable des logements.
- De telles mesures nécessitent d'importants investissements.
- La part d'énergie grise dans le bilan énergétique global est importante. Il est recommandé de vérifier de cas en cas, si le rapport entre énergie grise dépensée et énergie d'exploitation économisée est vraiment sensé.
- Installations centralisées: elles ne sont pas ou guère gérables par les utilisateurs. Attention: le risque existe de transfert des odeurs d'une pièce à l'autre si les canaux n'ont pas été conçus correctement.
- Installations décentralisées: frais de maintenance assez élevés, bruit de fonctionnement de l'installation dans le local où se trouve l'appareil.



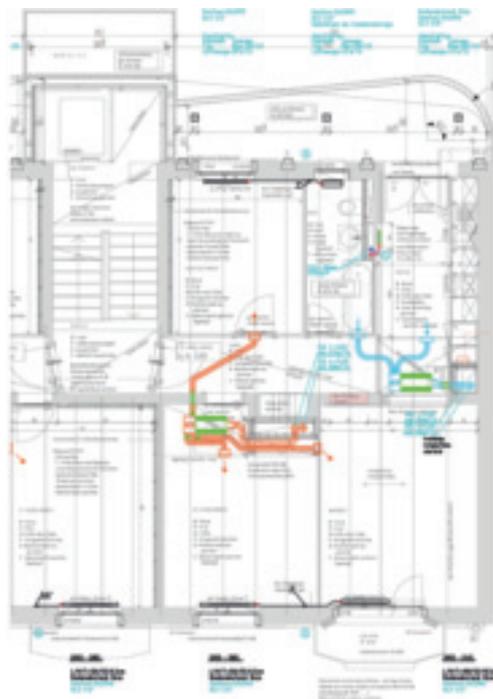
39

*Rénovation du quartier d'habitation Himmelrich à Lucerne: centrale de ventilation en sous-sol, nouveaux canaux de ventilation et d'évacuation intégrés dans une armoire murale existante*

Le lecteur trouvera des informations plus détaillées sur les différents composants et sur les possibilités d'intégration dans le catalogue des éléments de construction présenté au niveau 4 (p. 28 et suivantes).

Marge de manœuvre et perspectives d'innovation:

- Dans les bâtiments très élevés, il est parfois judicieux de prévoir plusieurs centrales de ventilation – p.ex. une sur le toit, une à la cave et une à mi-hauteur. Cela permet de réduire la section des canaux de ventilation.
- Pour les maisons en terrasses, les solutions axées sur le principe 1 (perforation des façades et des fenêtres) semble adapté. Cependant, il est aussi possible de prévoir une installation (décentralisée) par logement ou unité d'habitation.
- Il serait souhaitable de développer au niveau du logement des systèmes de distribution d'air frais dépourvus de canaux (p.ex. au moyen de systèmes actifs à ventilateurs). Cela permettrait d'économiser de l'espace en réduisant le volume utilisé pour les canaux de ventilation<sup>15</sup>.



40

<sup>15</sup> S'agissant des systèmes de distribution d'air sans canaux, consulter également le paragraphe intitulé "Amenée d'air frais et évacuation d'air vicié effectuées de manière centralisée au cœur du logement", au niveau 3: logement (p. 26).

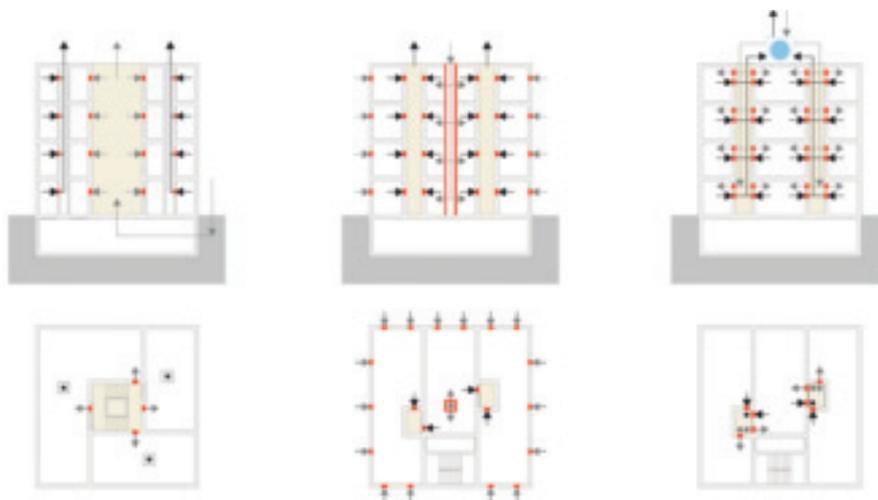
## Principe 4: cœur / locaux dédiés

Le principe en bref

L'idée principale du principe 4 est d'utiliser des locaux ou espaces existants ou nouvellement créés, tels que cages d'escaliers, atriums, puits de lumière, conduits d'aération, pour apporter de l'air frais, le stocker et le distribuer. On peut classer sous ce principe des systèmes de ventilation utilisant notamment des puits de lumière intérieurs, des cheminées d'aération ou des cages d'escaliers généreusement dimensionnées, dans lesquelles un courant d'air peut s'installer naturellement. Les zones tampons intérieures, comme les cages d'escaliers ou les atriums conviennent, s'ils sont construits avec des matériaux hydrophiles et ornés de plantes vertes, pour stocker de l'humidité ou nettoyer l'air de ses impuretés. Les puits de lumière ou les cheminées d'aération intérieures du bâtiment existant peuvent être utilisés pour aérer les logements de manière douce et naturelle. Ils peuvent aussi être réaffectés comme gaines techniques pour y installer les canaux de ventilation verticaux.

Conditions et critères d'application:

- Ces solutions conviennent lorsqu'il n'est guère envisageable de toucher aux façades extérieures.
- Elles sont intéressantes lorsque les espaces dédiés sont déjà existants ou peuvent être créés facilement. Il s'agit de vérifier de cas en cas si les puits de lumière ou les cages d'escaliers peuvent être considérés comme des zones d'évacuation des fumées pour répondre aux exigences de la police du feu.
- Les puits de lumière et les cheminées d'aération situés à proximité des logements sont particulièrement intéressants pour assurer l'aération transversale des appartements très profonds situés dans de gros bâtiments.
- Si le propriétaire souhaite se doter d'une installation centrale classique avec filtration de l'air et récupération de chaleur, et que les appartements sont trop exigus pour créer de nouvelles gaines verticales, il peut être intéressant de convertir des puits de lumière ou des cheminées d'aération existantes en gaines techniques verticales.



- Cage d'escalier largement dimensionnée permettant une circulation naturelle de l'air
- L'air frais est préchauffé dans la cage d'escaliers ou l'atrium, puis envoyé dans les logements au moyen de ventilateurs équipés de filtres, à travers des ouvertures munies de clapets anti-feu.

- Puits de lumière ou puits d'aération intérieurs favorisant le tirage naturel de l'air
- Convient pour l'aération transversale naturelle des logements
- L'air frais est aspiré par dépression, p.ex. à travers des clapets situés dans les fenêtres

- Centrale de ventilation sur le toit (avec échangeur de chaleur)
- Canaux de ventilation (air frais et air vicié) placés dans les puits de lumière existants

41

Coeur / Locaux dédiés

Types 1 à 3

Inconvénients ou difficultés d'application:

- S'il est prévu de faire circuler l'air naturellement dans les puits de lumière ou les cheminées d'aération, il faut être conscient du risque réel de transfert d'odeurs ou de transmission de bruit d'un appartement à l'autre. Il est impératif de s'occuper de ce problème.
- Si la cage d'escaliers est choisie comme zone de circulation d'air, il est nécessaire d'équiper toutes les bouches de communication vers les appartements d'un clapet de fermeture automatique anti-feu
- Si le propriétaire projette de transformer son immeuble, il se peut que le service du feu pose de nouvelles conditions, même pour des conduits existants qui servent déjà à l'aération des logements. Il est vivement recommandé de s'intéresser à cette question assez tôt.

Marge de manœuvre et perspectives d'innovation:

- Il s'agira de développer des systèmes d'aération valorisant les espaces intermédiaires ou les espaces extérieurs – tels que les cours intérieures disposant d'un microclimat favorable (peu bruyant et d'une température plus douce) – éventuellement en combinaison avec des systèmes de circulation mécaniques.
- Rechercher la valorisation des puits de lumière et des cheminées d'aération comme espaces utilisables.
- Principalement pour les nouveaux bâtiments administratifs ou les nouveaux immeubles de bureaux, l'architecte propose souvent des atriums ou des cours intérieures couvertes pour faciliter leur aération. Dans le cas de la rénovation de bâtiments d'habitation, il est rare que l'architecte pense à de telles solutions, alors même qu'elles apporteraient une contribution intéressante.

# Niveau 3: logement

Alors qu'au niveau du bâtiment, il a surtout été question des sources d'air frais et des possibilités de les exploiter, au niveau du logement, ce qui importe c'est d'examiner comment l'air est distribué dans les pièces. Pour assurer le bien-être des occupants, il s'agit, d'une part, d'assurer un renouvellement suffisant d'air de bonne qualité dans toutes les pièces, tout en veillant, d'autre part, à ne pas créer de courants d'air et à maintenir le bruit intrinsèque de l'installation dans des limites acceptables<sup>16</sup>. La place qu'occuperont les différents canaux et autres éléments de l'installation dépendra principalement de la conception générale de la ventilation et du système retenu.

## Amenée d'air frais et évacuation d'air vicié réalisées en façade par un système décentralisé

Toutes les pièces habitables sont alimentées individuellement en air frais directement sur la façade. De même l'air vicié est extrait de chacune des pièces par des ouvertures en façade. Un renouvellement constant de l'air est ainsi assuré. En règle générale, il n'est donc pas nécessaire de poser des canaux d'aération supplémentaires à l'intérieur du logement (sous réserve de locaux annexes borgnes situés au milieu du logement). En d'autres termes, il n'est pas nécessaire de toucher aux proportions ni à la taille des pièces existantes. Le plan du logement ne joue pas un rôle déterminant.

## Amenée d'air décentralisée, évacuation de l'air vicié centralisée au cœur du logement

Chaque pièce dispose d'une bouche d'amenée d'air en façade, et l'air vicié de tout le logement est aspiré et évacué par une seule issue. En général, il n'est pas plus nécessaire ici de prévoir des systèmes et éléments spéciaux de circulation de l'air. Il est fréquent d'installer dans les locaux sanitaires (WC / bain) un système central d'aspiration d'air vicié commandé par une minuterie ou un détecteur d'humidité. L'aspiration provoque une dépression dans le logement qui aspire l'air frais dans les pièces, p.ex. à travers des ouvertures placées dans les

fenêtres. D'expérience, de tels systèmes fonctionnent très bien, et ce, d'autant mieux que les portes des pièces restent ouvertes pendant la journée ou que l'air peut circuler sous la porte ou à travers une ouverture percée dans la porte elle-même.

## Amenée d'air frais et évacuation d'air vicié effectuées de manière centralisée au cœur du logement

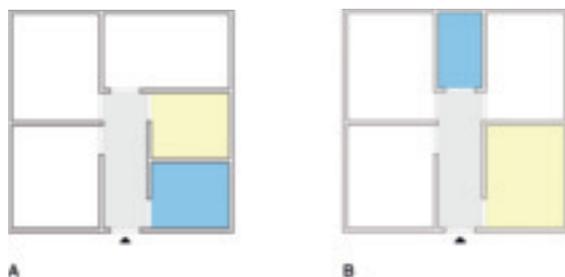
Ces systèmes fonctionnent différemment des autres présentés ci-dessus. L'air est amené puis évacué en un seul endroit dans le logement. En pareil cas, le plan du logement, et plus particulièrement les liaisons entre les pièces, jouent un rôle plus important que dans les systèmes précédents.

Pour les nouvelles constructions, on dissimule les canaux de distribution d'air dans les plafonds. Dans les cas de rénovations de bâtiments existants, il faut en général cacher ces conduites derrière un double plafond, ou les laisser apparentes.

On distingue deux sortes de logements:

1. À pièces fermées, accessibles par un hall ou un corridor central > types A, B ou C.
  2. À plan ouvert, où les espaces sont partagés entre différentes fonctions (p.ex.: cuisine, coin à manger, séjour et hall communicants) > types D, E ou F.
- Dans le cas 1, il est plus facilement envisageable de prévoir un faux plafond dans l'entrée que dans le cas 2.

*A, B, C : Logements à «plan fermé» avec des pièces clairement définies et des espaces de circulation (corridor, hall d'entrée)*



42

<sup>16</sup> Les taux minimaux de renouvellement d'air et les valeurs limites pour le bruit des équipements techniques sont déterminés dans la norme SIA 181 Protection contre le bruit dans le bâtiment et dans le cahier technique CT 2023 Ventilation des habitations.



*D, E, F : Logements à «plan ouvert» où différents espaces plus ou moins ouverts sont reliés entre eux par des zones de circulation*

Dans le cas 2, on peut revenir à une distribution «ouverte» et naturelle d'air et renoncer au système de canaux. En effet, il a été prouvé par des simulations que l'air frais se répartit de façon homogène dans les pièces en laissant assez de temps, même s'il n'est pas conduit par des canaux. Des déplacements d'air se produisent naturellement, alimentés par l'air arrivant des fenêtres, ou mis en mouvement par le système de chauffage ou les surfaces froides. Il en résulte un bon mélange d'air dans la pièce, même si les ouvertures d'alimentation ou d'extraction ne sont pas placées de manière optimale pour faciliter la circulation de l'air. En d'autres termes, dans les logements conçus avec des espaces cuisine et séjour non séparés (cuisine ouverte) équipés d'une

extraction d'air vicié mécanique (obligatoire), il n'est pas nécessaire de prévoir un canal d'amenée d'air frais spécifique. Il suffit que de l'air frais puisse entrer dans le logement quelque part. Si l'on renonce aux canaux d'amenée d'air, il est possible de réduire le débit d'air mis en circulation, ce qui permet, d'une part, de réduire la consommation d'énergie pour l'exploitation du système, d'autre part, de réduire les frais d'investissement – surtout dans le cas de rénovations<sup>17</sup>. Ces systèmes ouverts de distribution d'air sans canaux peuvent aussi être utilisés pour des logements «à plan fermé». C'est surtout vrai pour les petits logements occupés par peu de personnes, pour lesquels on peut supposer que les portes des pièces restent ouvertes, même pendant la nuit.

Si le concepteur ne veut pas prendre le risque d'un dysfonctionnement du système de distribution ouvert lorsque les portes des pièces sont fermées, il peut prévoir des ventilateurs (systèmes actifs) pour alimenter chaque pièce en air frais<sup>18</sup>.

On traitera aussi au niveau 3 les solutions de ventilation passant par des puits de lumière ou des cheminées d'aération prévues à l'intérieur des logements. La même réflexion peut se faire dans le cadre de rénovations de bâtiments existants, lorsqu'il est prévu d'agrandir des logements en rajoutant des espaces-tampons sous forme de balcons vitrés ou de jardins d'hiver rajoutés.

<sup>17</sup> Cf. Stefan Barp, Rudolf Fraefel, Heinrich Huber, *Schlussbericht Energieforschungsprojekt «Luftbewegungen in frei durchströmten Wohnräumen»* (Déplacements d'air dans les logements où l'air circule librement), Zurich, septembre 2009; et: Werner Kälin, Franz Sprecher, *Luftaustausch (Renouvellements d'air)*, Ville de Zurich: Département des constructions (HBD), Novembre 2009, p. 13

<sup>18</sup> Le service Energie et technique du bâtiment de l'Office des immeubles de la Ville de Zurich a organisé, en 2011, un concours d'idées en vue du développement d'installations actives de ventilation. Il voulait obtenir des produits standardisés à prix raisonnable, fabriqués industriellement, pouvant être montés soit dans des cloisons intérieures, soit dans des portes. Ces dispositifs devaient permettre de faire circuler l'air du corridor vers les pièces (même fermées), puis de renvoyer l'air vicié de nouveau dans le corridor. Le résultat de ce concours a montré que, certes, de telles solutions sont réalisables sur le plan technique, mais que, sur le plan esthétique, de grands progrès devraient encore être réalisés. (Cf. *Produktwettbewerb Aktive Überströmer, Bericht des Preisgerichts*, (concours d'idées pour des circulateurs d'air actifs, rapport du jury) 05/2011 (source: Ville de Zurich, Office des immeubles)

# Niveau 4: éléments de construction

Au niveau 4, le but est de présenter au lecteur les différents composants d'un système de ventilation utilisables soit en façade, soit à l'intérieur des bâtiments. Cette brève présentation prend la forme d'un catalogue d'éléments, assorti de commentaires sur les conditions de leur utilisation et leur facilité d'intégration. Ces dernières années, l'architecture a surtout visé à développer des

éléments techniques concernant l'enveloppe et les ouvertures. Les exemples présentés – bien qu'incomplets – illustrent bien cette tendance. Lors de la rénovation de bâtiments d'habitation, les architectes ne songent pas souvent à proposer des espaces supplémentaires qui pourraient faciliter la ventilation des pièces. Les auteurs de la présente étude suggèrent aux concepteurs et aux chercheurs de creuser cette piste de réflexion.

## Enveloppe / Perforation

### Éléments visibles montés contre des murs



44

*Appareil décentralisé pour l'apport d'air neuf, à intégrer dans un mur, une cloison ou au sol: produit Airbox, BS2*

### Éléments intégrés aux fenêtres



46

*Appareil de ventilation individuel, à intégrer dans le cadre des fenêtres: ventilateur swiss air window, Fentech AG, St-Gall*



45

*Appareil de climatisation décentralisé, monté en applique: produit Air-On*



47

*Élément de ventilation intégré à la fenêtre, avec amortissement du bruit: produit Sonovent, Renson*

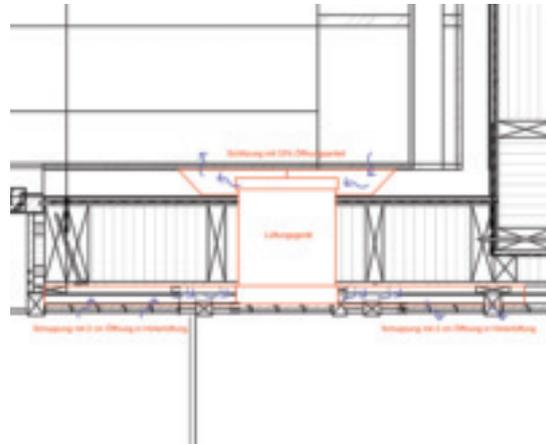
## Enveloppe / Perforation

### Éléments intégrés dans le mur extérieur



48

Dispositif d'aération décentralisé, à intégrer dans le contrecœur des fenêtres lors de rénovations: produit Comfosystems PremiVent, Zehnder AG



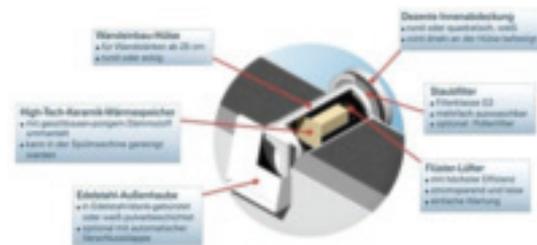
50

Solar Decathlon Europe 2014: projet your+ de l'équipe Lucerne – Suisse de la section Technique et architecture de la Haute école des sciences et des arts appliqués: appareil de ventilation individuel, intégré dans le mur extérieur, avec un cache à l'intérieur et un couvercle à l'extérieur: produit Helios EcoVent



49

Dispositif d'aération décentralisé, à intégrer dans un mur: produit Lunos



51

Appareil de ventilation individuel, à intégrer en façade: produit inVENTer

## Enveloppe / Addition

### Éléments intégrés en façade



52

*Rénovation du quartier de Heumatt à Zurich:  
canaux de ventilation encastrés dans la couche d'isolation de la façade*



53

*Rénovation de bâtiments d'habitation à  
Worben/BE: apport d'air neuf via les anciens  
caissons de stores reconvertis, et réseau de  
distribution intégré dans l'isolation des façade*

Exemples de locaux dédiés



54

*Vieille ville de Madrid: un élément traditionnel est transformé pour assurer diverses fonctions: agrandissement de l'espace, apports de lumière, ventilation, protection contre les intempéries*



55

*Rénovation d'un immeuble d'habitation à Konolfingen/BE: transformation des balcons en vérandas, avec ouvertures décentralisées pour l'apport d'air neuf*

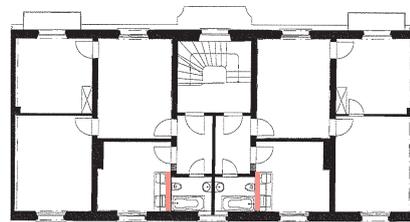
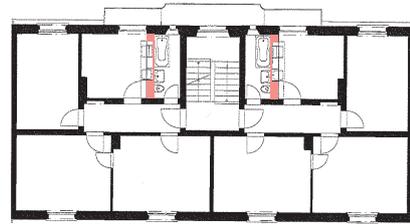
## Cœur / Addition

### Exemples à l'intérieur des locaux



56

*Quartier d'habitation Burgunder à Berne: des canaux d'amenée d'air apparents alimentent les différentes pièces à partir d'un noyau central*



57

*Rénovation du quartier d'habitation Zurlinden à Zurich: des éléments préfabriqués (cloisons et conduits d'aération) simplifient les travaux de rénovation*

## Cœur / Locaux dédiés

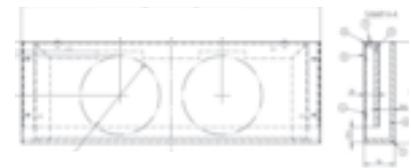


58

*Rénovation d'un bâtiment mixte (logements et bureaux) à la Spitalgasse à Berne: jongler avec l'air et la lumière dans les pièces et les corridors*



59



*Elément de distribution d'air pulsé, intégré dans une cloison intérieure (comfoduct attivo, Zehnder AG)*

# Résumé en guise de conclusion

## Ventilation naturelle, mécanique ou hybride

Différents facteurs concourent à l'obtention d'une atmosphère agréable dans un logement; l'un d'eux est de disposer de bon air. Mais, pour se sentir bien dans un appartement, les habitants ne doivent pas seulement disposer d'air renouvelé suffisamment souvent ou débarrassé de ses polluants ou de son humidité. Leur bien-être dépend aussi de facteurs subjectifs. Par exemple, le geste d'ouvrir la fenêtre et de faire pénétrer dans l'espace à vivre les saveurs de l'environnement (la lumière, la brise, les sons et les odeurs) contribue notablement à ce bien-être. C'est la raison pour laquelle l'auteur d'une rénovation de bâtiment serait bien avisé d'examiner sans a priori les différentes possibilités de ventilation à sa disposition: systèmes naturels, systèmes mécanisés et systèmes hybrides.

## Aaération par les fenêtres

Ouvrir toutes grandes les fenêtres plusieurs fois par jour pendant quelques minutes peut être considéré comme un système tout à fait adéquat pour apporter du bon air dans une pièce. Le courant d'air frais ainsi créé chasse l'air vicié et humide de la pièce et prévient le développement de moisissures et la multiplication d'acariens. Il est aussi possible d'améliorer la qualité de l'air intérieur en choisissant des matériaux à pores ouverts capables de laisser passer la vapeur d'eau, ainsi que des matériaux ne contenant pas, ou seulement peu de polluants, et qui sont susceptibles d'emmagasiner une certaine humidité. De même, le fait de renoncer à utiliser des crépis, isolants, peintures ou laques synthétiques permet de limiter considérablement les émissions de polluants dans les espaces à vivre, et d'améliorer sensiblement la gestion de l'humidité de l'air. Bien entendu, l'aération naturelle par ouverture des fenêtres est un sujet sensible dans le contexte des efforts pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments. D'une part, on dépense beaucoup d'argent pour isoler soigneusement les bâtiments, d'autre part, on laisse souvent ouvertes pendant longtemps les fenêtres basculantes de la chambre à coucher ou de la salle de bain. Cette contradiction flagrante appelle une réponse en termes de responsabilisation de l'utilisateur.

Accordons-nous une liberté de conception et une marge importante de créativité pour concevoir des solutions adaptées aux situations individuelles, qui intègrent une vision élargie des questions énergétiques – incluant la prise en

compte de l'énergie grise – et qui osent aborder des questions de confort, telles que la baisse du niveau de température intérieure ou la simplification des installations électriques. Et n'oublions pas: cette stratégie de l'aération naturelle est particulièrement bien adaptée aux exigences d'une opération de rénovation pour un bâtiment protégé ou digne de protection.

## Tenir compte du contexte local et du cas particulier

L'architecte est invité à élargir sa réflexion en confrontant les exigences de confort de ses clients avec les données relatives au contexte local, à la typologie des logements et aux multiples possibilités de résoudre la question de la ventilation. En reconnaissant toutes les implications des différents systèmes et en explorant la compatibilité entre infrastructure technique et structure des logements à rénover, il peut acquérir une meilleure compréhension de la problématique de la qualité de l'air intérieur. Au lieu de se référer à des recettes courantes, il peut rechercher des solutions bien adaptées aux contraintes locales, en se laissant inspirer par les liens de causalité évidents entre typologies de logement ou de bâtiment et stratégies de ventilation. Bien sûr, au départ du processus de conception, il peut choisir une solution standard, mais il est vivement invité à intégrer le contexte du bâtiment dans le développement du projet et l'étude détaillée du système de ventilation.

## Étudier le contexte et le type de bâtiment

Sur la base des réflexions ci-dessus, les auteurs du présent guide de planification proposent une analyse à quatre niveaux. En premier lieu, il s'agit de comprendre le contexte et de poser des objectifs généraux. La prise en compte du bâtiment n'intervient qu'après, au deuxième niveau. La réflexion se structure alors autour de quatre principes fondamentaux régissant l'intégration d'une infrastructure technique dans un bâtiment existant. En analysant quelques exemples de mise en œuvre, les auteurs constatent que certains types de bâtiments appellent des systèmes très spécifiques. Dans d'autres cas, au contraire, le type de bâtiment importe peu. La question principale est plutôt la coordination et l'étude des synergies entre les différentes mesures envisagées pour la transformation ou la remise en état du bâtiment. Étudier ces corrélations ouvre de nouvelles perspectives de solutions, soit en façade, soit à l'intérieur des logements. Ainsi, dans les cas de maisons en

terrasses ou d'immeubles à plusieurs étages, où la typologie des logements n'est pas la même d'un étage à l'autre, l'architecte sera bien inspiré d'examiner des solutions décentralisées spécifiques aux différents logements (appareils ou systèmes) qui s'inscrivent en façade. Dans les bâtiments offrant des logements plutôt étriqués, avec de petites pièces – construits p.ex. dans les années 1940 – ou dans les immeubles-tours caractérisés par un grand nombre de logements superposés qui nécessiteraient des canaux de ventilation à grande section, l'architecte devra chercher des solutions qui ne demanderont pas d'ouvrir de nouvelles gaines techniques verticales. En revanche, s'il prévoit une rénovation intégrale de l'enveloppe, avec agrandissement des balcons ou nouvelles loggias, ou l'adjonction d'un corps de bâtiment, ou s'il planifie la rénovation lourde des logements, il pourra envisager des solutions entièrement différentes pour le même bâtiment.

### Typologie des logements et éléments de construction

Aux niveaux 3 et 4, l'architecte évaluera la problématique de la distribution de l'air (apport et extraction) à l'intérieur des logements, avec choix entre différents éléments techniques. Si les pièces du logement sont alimentées directement par des prises d'air intégrées à l'enveloppe, il n'est en général pas nécessaire de prévoir des canaux d'amenée d'air frais à l'intérieur – hormis pour d'éventuels locaux annexes situés au cœur du logement. Il est ainsi possible de ne pas toucher aux proportions des pièces ni à la hauteur des plafonds. Dans presque tous les systèmes basés sur des ouvertures dans les fenêtres ou en façade, la question de l'extraction de l'air vicié est également réglée de manière décentralisée, au niveau de chaque pièce. Mais il est aussi possible de réutiliser des installations existantes d'extraction d'air vicié, telles que des ventilateurs dans des locaux secondaires ou des hottes d'aspiration au-dessus de cuisinières, qui sont déjà raccordés à un système de conduites d'évacuation. Si les apports d'air frais se font par l'intérieur du bâtiment, il faut tenir compte de la typologie du logement.

Dans les logements avec des pièces fermées organisées autour d'un hall ou corridor central, il est envisageable, si la hauteur de plafond le permet, de placer un système de canaux de distribution dans le faux-plafond de l'entrée. On y placera à la fois les canaux d'amenée d'air frais et les canaux d'évacuation de l'air vicié vers et en provenance de chaque pièce. Les pièces seront desservies par des ouvertures placées en haut dans la cloison les séparant du hall. Dans les logements dont le plan est plus ouvert, avec de grands espaces multifonctionnels, on optera pour des systèmes de distribution ouverts eux aussi. En pareil cas, ou lorsque les portes des pièces restent toujours ouvertes,

il suffit d'extraire l'air vicié en un seul point (salle de bain ou cuisine) et de prévoir l'amenée d'air pour tout le logement en un point quelconque. L'air frais se répartira de lui-même uniformément.

### Recherche de solutions novatrices

On peut, p.ex., exploiter des systèmes faisant appel conjointement à des éléments spatiaux (facilitant la circulation naturelle de l'air) et à des appareils mécaniques décentralisés équipant individuellement chaque pièce. En d'autres termes, il s'agit de privilégier des solutions subtiles sachant utiliser les propriétés physiques des fluides d'air en combinaison avec des éléments d'automatisation intelligents, adaptés à la situation locale, de manière à assurer le confort des habitants, tout en respectant les qualités architecturales des volumes intérieurs. Tout un champ de recherche s'ouvre donc autour des systèmes d'aération naturelle dépourvus de modules de traitement de l'air. Citons notamment des matériaux d'enveloppe isolants mais perméables à l'air sans perte d'énergie, ou des éléments de façade multifonctionnels, susceptibles même de capter de l'énergie solaire. La recherche devra déboucher sur de nouveaux produits et de nouveaux matériaux allant dans ce sens. Comme indiqué plus haut sous la forme de la thèse n° 2, l'objectif est d'assurer un renouvellement de l'air constant et contrôlé par un système ne consommant lui-même pas – ou que peu – d'énergie supplémentaire.

### Culture architecturale

En référence à la thèse n°1 énoncée plus haut, on peut affirmer que le choix d'une stratégie de rénovation doit principalement s'appuyer sur la connaissance du contexte spécifique et sur les objectifs individuels du maître de l'ouvrage. Cela n'empêche pas l'architecte de s'inspirer des principes fondamentaux permettant d'assurer la compatibilité entre infrastructure technique et structure des logements à rénover. Les contraintes à respecter sont, d'une part, une qualité élevée des aménagements intérieurs, d'autre part, une valeur d'usage répondant véritablement aux besoins des utilisateurs. Sans oublier que les investissements consentis pour atteindre une bonne qualité de l'air intérieur doivent rester dans un ordre de grandeur raisonnable, c'est-à-dire être rationnels sur le plan de leur rentabilité. L'enjeu est de conserver et de poursuivre une culture architecturale qui se reconnaisse dans les principes de durabilité; en d'autres termes, une culture basée sur la cohérence globale entre formes architecturales et équipements techniques.

# Aérer en respectant le bâtiment

## Listes de contrôle

### Niveau 1: contexte et stratégie

Objectif: La stratégie de rénovation de l'immeuble est rédigée et peut être intégralement confrontée aux autres niveaux d'analyse.

A: Les caractéristiques spécifiques du site en rapport avec la problématique du renouvellement de l'air ont été analysées et évaluées. Les principales caractéristiques à prendre en compte sont notamment les suivantes:

- immissions de bruit
- présence de polluants atmosphériques
- pollutions par les odeurs
- orientation (par rapport au vent et aux intempéries)

B: Les principaux objectifs pour le traitement de l'immeuble ont été analysés et définis, notamment selon les points suivants:

- durée de vie escomptée du bâtiment ou des mesures de rénovation
- niveau de confort visé (renouvellement d'air automatique, importance de la question de l'autonomie des habitants, etc.)
- standard souhaité sur les questions de durabilité et de consommation d'énergie (p.ex.: label visé, volonté de traiter ces questions d'un point de vue global, etc.)
- cadre financier plausible pour les investissements et le niveau des loyers

C: Les conditions générales sont connues et les objectifs de rénovation pour le bâtiment, déterminés; l'architecte est notamment au clair quant à la valeur architecturale du bâtiment et à la qualité de son enveloppe. S'agissant de la qualité de l'air et de l'organisation de l'espace, les thèmes suivants ont notamment été abordés:

- valeur patrimoniale du site dans son contexte (cohérence avec les bâtiments voisins, ensemble architectural, aspects paysagers)
- caractéristiques architecturales de l'enveloppe du bâtiment, dignes d'être conservées ou protégées au titre de monument historique (protection intégrale ou partielle, matériaux, proportions, coloration des façades, etc.)

- détermination de la marge de manœuvre dont dispose l'architecte pour opérer la rénovation ou la transformation de l'enveloppe
- autres transformations de l'enveloppe du bâtiment planifiées ou prévues (remplacement des fenêtres, assainissement des façades, avec ou sans isolation thermique rapportée; création de balcons ou d'autres extensions)

D: Quant aux aménagements intérieurs, les conditions générales sont connues et les objectifs de rénovation pour le bâtiment, déterminés. S'agissant de la qualité de l'air et de l'organisation de l'espace, les thèmes suivants ont notamment été abordés:

- valeur patrimoniale de la structure interne de l'immeuble (volume et proportions des pièces, traitement des surfaces, matériaux utilisés, structures, etc.)
- caractéristiques intérieures dignes de conservation ou de protection, totale ou partielle
- détermination de la marge de manœuvre dont dispose l'architecte pour opérer la rénovation ou la transformation de l'intérieur de l'immeuble
- autres transformations des aménagements intérieurs du bâtiment planifiées ou prévues (rénovation des salles de bain et/ou des cuisines, remplacement des conduites et canalisations, rafraîchissement des surfaces, réunion d'appartements, etc.)

### Niveau 2: bâtiment

Objectif: Au niveau du bâtiment, la stratégie de conception est connue et concrétisée par des mesures précises; elle peut être intégralement confrontée aux autres niveaux d'analyse.

A: Le type de bâtiment a été reconnu et ses caractéristiques principales, identifiées (cf. chap. sur l'histoire de l'architecture). Les principales caractéristiques à prendre en compte sont notamment les suivantes:

- types de bâtiment (A Immeuble en îlot, B Bâtiment linéaire, C Bloc isolé / bâtiment ponctuel, D Immeuble-barre élevé, E Immeuble-tour, F Ensemble de maisons groupées, en ordre contigu, à murs de refend porteurs,

G Maisons en terrasses, H Grandes structures)

- nombre et structure des étages
- nombre d'appartements pour les différents types de logements
- conception des équipements et des circulations (cages d'escaliers, ascenseurs, cheminées d'aération et gaines techniques)

B: Les qualités architecturales spécifiques du bâtiment ont été identifiées. Les caractéristiques principales à reconnaître sont notamment les suivantes:

- enveloppe / perforation
- enveloppe / addition
- cœur / addition
- cœur / locaux dédiés

### Niveau 3: logement

Objectif: Au niveau du logement, la stratégie de conception est connue et concrétisée par des mesures précises; elle peut être intégralement confrontée aux autres niveaux d'analyse.

A: Les types de logements ont été reconnus et leurs caractéristiques principales, identifiées. Les principales caractéristiques à prendre en compte sont notamment les suivantes:

- proportions des volumes (hauteurs de plafond, profondeurs des pièces)
- répartition des pièces et corrélations entre elles
- affectation plus ou moins flexible des locaux (très spécifique ou, au contraire, neutre, polyvalente)
- possibilités de faire circuler l'air (à travers les différents espaces ou les infrastructures existantes)

B: Les qualités architecturales spécifiques du bâtiment ont été identifiées. Les caractéristiques principales à reconnaître sont notamment les suivantes:

- orientation des logements sur un seul côté, ou logements traversants?
- langage architectural des aménagements intérieurs
- matériaux utilisés et traitement des surfaces

C: Il est possible de choisir la solution de distribution de l'air la mieux adaptée à la situation. Ces choix sont au nombre de quatre:

- système centralisé ou décentralisé?

- apport d'air neuf et évacuation d'air vicié à travers l'enveloppe ou au cœur du logement?
- circulation de l'air à travers les pièces et corridors ou dans des canaux fermés?
- distribution de l'air d'une manière naturelle, d'une manière automatisée par la gestion des pressions d'air, ou d'une manière forcée, par des circulateurs d'air?

### Niveau 4: éléments de construction

Objectif: Au niveau des éléments de construction, la stratégie de conception est connue et concrétisée par des mesures précises; elle peut être intégralement confrontée aux autres niveaux d'analyse.

A: Les qualités architecturales spécifiques du bâtiment ont été identifiées. Les caractéristiques principales à reconnaître sont notamment les suivantes:

- construction massive, construction à châssis rigides, construction en poteaux et dalles, ou autres?
- structures (porteuses) apparentes ou revêtues?
- langage architectural des aménagements intérieurs

B: Les caractéristiques des éléments de construction ont été étudiées et évaluées. Les principales caractéristiques à prendre en compte sont notamment les suivantes:

- matériau utilisé
- traitement de surface (pour les sols, les murs et les plafonds)
- texture, mode d'assemblage, coloration

C: Le concepteur a choisi le mode de comportement des habitants le mieux adapté à la réalité, et permettant un renouvellement de l'air satisfaisant dans les différentes pièces. Une attention particulière est portée aux ouvertures permettant à l'air neuf de pénétrer et à l'air vicié d'être extrait, ainsi qu'à l'intégration de ces ouvertures dans chaque situation. Les principales caractéristiques à prendre en compte sont notamment les suivantes:

- nombre et emplacement des bouches
- grandeur et proportions des dispositifs
- matériaux utilisés et traitement des surfaces

## Crédits photographiques

**Couverture:** Spitalgasse 21, Berne, Bürgi Schärer, photo Alexander Gempeler

**Fig. 1** Modèles réduits: étudiants du cours d'architecture 2010 pour le Master, section Technique et architecture de la Haute école des sciences et des arts appliqués de Lucerne (photos: Markus Käch)

**Fig. 2** «Malquaf» avec humidificateurs et cheminée d'évacuation, projet: Hassan Fathy (in: Arch+, Aachen (février 1987), cahier 88 «Hassan Fathy: Architektur aus 1001 Steinen». L'architecture dans le pays des mille et une pierres, p. 44)

**Fig. 3, 4, 5, 7, 8, 12, 14, 15, 21, 22** in: Michael Koch, Mathias Somandin, Christian Süssstrunk, Kommunal und Genossenschaftlicher Wohnungsbau in Zürich 1907-1989 (construction de logements communaux et coopératifs à Zurich entre 1907 et 1989), Zurich: Office des finances et office des travaux publics II de la Ville de Zurich, 1990, Fig. 3 et 4: p. 108, Fig. 5: p.156, Fig. 7 et 8: p. 163, Fig. 12: p. 201, (photo: Michael Wolgensinger), Fig. 14 et 15: p. 206, Fig. 21 et 22, p. 121

**Fig. 6** in: Wohnsiedlung Riedtli, Zürich (dépliant): Office des immeubles de la Ville de Zurich, 2008

**Fig. 9, 10, 11** in: Peter Disch, 50 anni di architettura in Ticino 1930-1980, Bellinzona-Lugano: Grassico Pubblicità SA, 1983 Fig. 9: p. 21, (photo: P. Disch), Fig. 20, p. 25

**Fig. 13, 24, 27, 28** in: Christoph Durban, Michael Koch, Daniel Kurz, Maresa Schumacher, Mathias Somandin, Mehr als Wohnen – Gemeinnütziger Wohnungsbau in Zürich 1907-2007 (Mieux que simplement habiter: construction de logements d'utilité publique à Zurich entre 1907 et 2007), Zurich: gta Verlag Zürich, 2007, Fig. 24: p. 105, Fig. 24: p. 143 (photo: Walter Mair), Fig. 27: p. 163 (photo: Hannes Henz), Fig. 28: p. 185 (photo: René Rötheli)

**Fig. 16** in: Atelier 5, Siedlungen und städtebauliche Projekte (quartiers d'habitation et projets urbains), Braunschweig/Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaften, 1994, p. 33

**Fig. 17** in: werk, Winterthour (octobre 1968), cahier 10 «Mehrfamilienhäuser – Siedlungen» (Immeubles d'habitation - Quartiers), p. 654)

**Fig. 18, 19, 20** in: Tec21, Zurich (juin 2013), cahier 24 «Denkmal Curtain Wall», Fig. 18: p. 17, Fig. 19: p. 18, Fig. 20, p. 19

**Fig. 23** in: werk, Winterthour (octobre 1964), cahier 10 «Terrassenhäuser» (maisons en terrasses), p. 364; photo: H. Borner

**Fig. 25, 26** in: Werk, Bauen + Wohnen, Zurich (mai 1986), N° 5 «Frühlingsszenen in der französischen Schweiz» (Scènes printanières en Suisse romande), p. 56/57

**Fig. 29** in: NABEL Pollution de l'air 2012, Berne: Office fédéral de l'environnement OFEV, 2013

**Fig. 30, 31, 35, 38, 41, 42, 43** Schémas conçus par la section Technique et architecture de la Haute école des sciences et des arts appliqués de Lucerne, groupe de recherche MSE A

**Fig. 32, 33** in: Internet, [www.bgzurlinden.ch](http://www.bgzurlinden.ch)

**Fig. 34** photo: Fensterfabrik Albisrieden AG, Zurich

**Fig. 36** photo: Andrea Helbling, Arazebra, Zurich

**Fig. 37** in: faktor, Zurich (2006), N° 3, p. 11

**Fig. 39/40** Allgemeine Baugenossenschaft Luzern

**Fig. 44** photo: Airbox-System, BS2

**Fig. 45** in: Internet, [www.air-on.ch](http://www.air-on.ch)

**Fig. 46** photo: Adrian Baer, NZZ

**Fig. 47** in: Internet, [www.renson.ch](http://www.renson.ch)

**Fig. 48** in: Internet, [www.zenhnder-comfosystems.ch](http://www.zenhnder-comfosystems.ch)

**Fig. 49** in: Internet, [www.lunos.de](http://www.lunos.de)

**Fig. 50** projet your+ HES Lucerne, Technique et architecture

**Fig. 51** in: Internet, [www.inventer.de](http://www.inventer.de)

**Fig. 52** photo: Andrea Helbling, Arazebra, Zurich

**Fig. 53** photo: Bürgi Schärer / Michal Rom

**Fig. 54** photo: Bürgi Schärer / Hanspeter Bürgi

**Fig. 55** photo: Bürgi Schärer / Hanspeter Bürgi

**Fig. 56** photo: Alexander Gempeler

**Fig. 57** in : Wohnsiedlung Zurlinden, Zurich, AHB Zurich

**Fig. 58** photo: Alexander Gempeler

**Fig. 59** in: Internet, [www.zehner-comfosystems.ch](http://www.zehner-comfosystems.ch)

Lucerne University of  
Applied Sciences and Arts

# HOCHSCHULE LUZERN

Technik & Architektur

## Impressum

### Projet de recherche:

Haute école spécialisée de Lucerne, Département Technique et architecture:  
groupe de recherche « Matériaux, structures et énergie dans le bâtiment » (MSE A),  
en collaboration avec le Centre de technique intégrale du bâtiment (ZIG)  
Auteurs: Hanspeter Bürgi, Daniela Staub  
Collaborateurs: Sonja Huber, Alexander Lempke, Urs-Peter Menti, Reto Gadola, Victoria Gross

### Partenaires:

- Agence Minergie Construction
- Allgemeine Baugenossenschaft Luzern (ABL)
- Caisse de pension lucernoise (LUPK)
- Minergie / SUPSI
- Office des immeubles (AHB), ville de Zurich
- Office fédéral de l'énergie (OFEN)
- Office fédéral du logement (OFL)
- R&G Metallbau AG / Sky-Frame
- Revue Habitation
- Service de l'environnement et de l'énergie (uwe), Canton de Lucerne
- Société suisse des propriétaires fonciers (HEV)
- Suissetec
- Zehnder Group International AG ZGI

### Graphisme:

franz&rené AG, Berne

### Traduction et adaptation:

Acta Conseils Sàrl, Yverdon-les-Bains

Le projet a pu être mené à bien grâce au soutien financier de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN), du programme SuisseEnergie, ainsi que des autres partenaires mentionnés. L'équipe rédactionnelle est seule responsable du contenu du rapport et de ses conclusions.



© HES Lucerne, Technique et architecture avec partenaires  
SuisseEnergie, Office fédéral de l'énergie OFEN  
Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen. Adresse postale: CH-3003 Berne  
Tél 058 462 56 11, fax 058 463 25 00  
energieschweiz@bfe.admin.ch www.suisseenergie.ch

Distribution:  
OFCL, Vente des publications fédérales, CH-3003 Berne  
www.publicationsfederales.admin.ch  
No d'art. 805.310.f 10.14 200 860 339 451

Octobre 2014