

# **ARCHITECTURE ET EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE**

**PRINCIPES DE CONCEPTION  
ET DE CONSTRUCTION**

**ROBERTO GONZALO  
KARL J. HABERMANN**

**BIRKHÄUSER  
BASEL · BOSTON · BERLIN**

## SOMMAIRE

<b>AVANT-PROPOS</b>	<b>5</b>
<b>LES ORIGINES DE LA CONSTRUCTION SOUCIEUSE DES RESSOURCES ET DE L'ÉNERGIE</b>	<b>7</b>
<b>URBANISME ÉNERGÉTIQUEMENT EFFICACE: PRINCIPES ET STRATÉGIES</b>	<b>25</b>
Situation de départ	26
Développement	28
Conditions climatiques	30
Types et proportions de bâtiments	33
Orientation du bâtiment	34
Densité de construction	34
Desserte	35
Stationnement	38
Environnement et espaces libres	38
Aides à la conception	40
Approvisionnement en énergie	41
<b>URBANISME ÉNERGÉTIQUEMENT EFFICACE: EXEMPLES</b>	<b>43</b>
Construction de maisons passives: lotissement de maisons jumelées à Kriens, Lischer Partner Architekten, Lucerne	44
Densification urbaine: maisons en bande à Affoltern, Metron Architektur, Brugg	50
Comblement d'une dent creuse: immeuble d'habitation à Munich, H2R Architekten, Hüther, Hebensperger-Hüther, Röttig, Munich	56
Réparation urbaine: immeuble de bureaux et d'habitation à Munich, Martin Pool, Munich	62
Comblement d'une dent creuse: immeuble de bureaux et de logements à Wiesbaden, A-Z Architekten, Wiesbaden	68
Construction de logements sociaux énergétiquement efficaces: immeuble d'habitation à Madrid, Guillermo Yañez, Madrid	74
Requalification d'une friche industrielle: campus universitaire à Nottingham, Hopkins Architects, Londres	80
<b>CONCEPTION DE BÂTIMENTS ÉNERGÉTIQUEMENT EFFICACES: PRINCIPES ET MESURES</b>	<b>87</b>
Situation de départ et perspectives	88
Construction de logements énergétiquement efficaces	89
La pièce	90
Proportions du bâtiment	91
Orientation d'un bâtiment	92
Façades solaires	95
Espaces de transition	98
Utilisation et bilan énergétique	99
Réhabilitation énergétiquement efficace	101
Réhabilitation au lieu de construction nouvelle: avantages	101
Conditions pour la réhabilitation	102
Isolation thermique	104
Ventilation	105
Système de chauffage	106
Bâtiments d'activités énergétiquement efficaces	107
Exigences	107
Bilan énergétique	107
Protection solaire	109
Éclairage naturel et artificiel	110
Ventilation et climatisation	112
Activation thermique des éléments du bâtiment	112
Fonctions mixtes	112
Bâtiments culturels énergétiquement efficaces et équipements publics: spécificités	113

**CONCEPTION DE BÂTIMENTS ÉNERGÉTIQUEMENT EFFICACES:  
EXEMPLES**

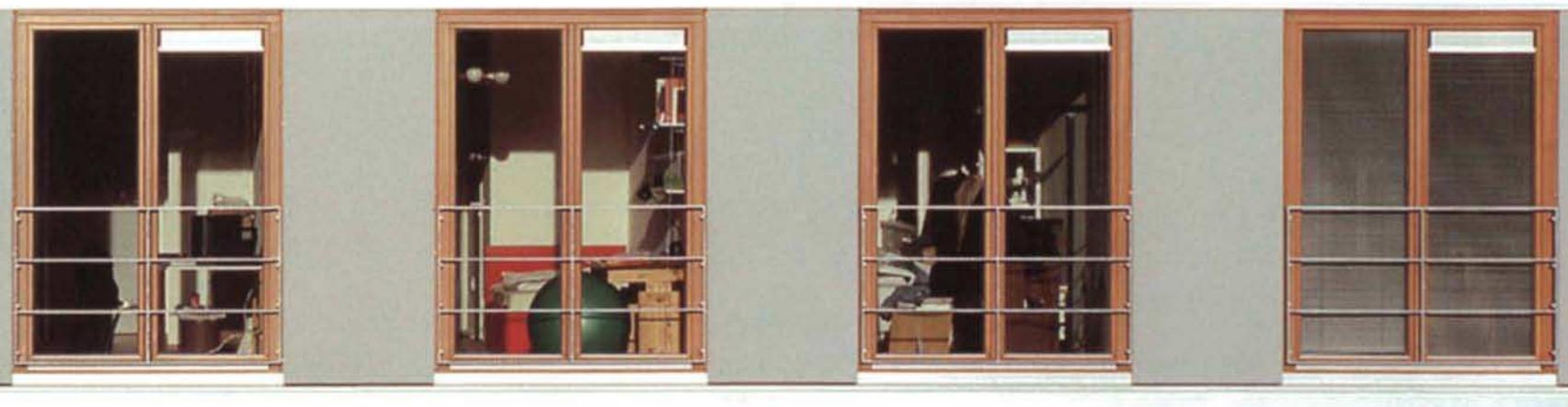
Réhabilitation au standard basse énergie et maison passive: résidence universitaire à Wuppertal, PPP, Müller, Schlüter	116
Utilisation flexible: bâtiment d'habitation et de bureaux à Schwarzach, Christian Lenz, Hermann Kaufmann, Schwarzach	122
Système voisin de la maison passive: immeuble de bureaux et de logements à Sursee, Scheitlin-Syfrig + Partner, Lucerne	128
Façades différencierées: complexe de bureaux à Duisbourg, Schuster Architekten, Düsseldorf	134
Ventilation naturelle d'une tour: bâtiment de bureaux à Munich, Henn Architekten, Munich	140
Projection d'ombre et guidage de la lumière: complexe de bureaux à Wiesbaden, Thomas Herzog + Partner, Munich	146
Immeuble de bureaux durable: bâtiment du Parlement à Londres, Hopkins Architects, Londres	152
Écologie intégrée: bureaux et ateliers à Weidling, Georg W. Reinberg, Vienne	158
Bâtiment d'entreprise au standard passif: immeuble d'activités à Steyr, Walter Unterrainer, Feldkirch	164
Établissement scolaire au label basse énergie: école de Pichling, Loudon + Habeler, Vienne	170
Bâtiment scolaire au standard passif: école Montessori à Aufkirchen, Walbrunn Grotz Vallentin Loibl, Bockhorn	176
Projet de construction participatif: collège à Gelsenkirchen, plus+ bauplanung, Neckartenzlingen	182
Réponse à des conditions extrêmes: établissement scolaire à Ladakh, Arup Associates, Londres	188
Système d'éclairage naturel réglable: musée d'art à Riehen, Renzo Piano Building Workshop, Paris/Gênes	194

**CONCEPTION DES DÉTAILS ET AMÉNAGEMENT TECHNIQUE  
ÉNERGÉTIQUEMENT EFFICACES**

Dispositions et matériaux	202
Situation de départ	202
Surfaces vitrées	202
Murs	202
Matériaux isolants	203
Inertie thermique	204
Perspectives	205
Concepts de ventilation et systèmes énergétiques	206
Concepts de ventilation	206
Zones de ventilation	206
Installations de ventilation avec récupération de chaleur	206
Installations de ventilation centralisées ou décentralisées	207
Concepts de chauffage et de climatisation: sources d'énergie	207
Production combinée de chaleur et d'électricité (cogénération)	207
Combustibles d'origine végétale (biomasse)	208
Énergie solaire thermique et photovoltaïque	208
Pompe à chaleur et groupe frigorifique	209
Rafraîchissement	209
Systèmes de chauffage	210

**ANNEXES**

Glossaire	212
Bibliographie	215
Institutions – Adresses utiles	216
Index	217
Intervenants	219
Crédits iconographiques	221



# AVANT-PROPOS

Les utopies et les expérimentations sont des moteurs importants pour le développement de nos technologies. Les visions de voyages dans l'espace de Jules Verne sont entre-temps devenues réalité, tout comme celles d'Eugène Hénard en matière d'urbanisme. L'idée de bâtiments énergétiquement autonomes réapparaît de façon récurrente depuis quelque temps. Buckminster Fuller, Norman Foster et Richard Rogers doivent être cités ici.

Après la phase expérimentale vient la mise en pratique des découvertes concluantes. L'objectif des auteurs est de faire concorder, d'une part, les connaissances disponibles et les innovations en physique du bâtiment et en techniques de construction et, d'autre part, les expériences des nombreux intervenants du BTP.

«Il n'existe pas de style propre à la construction économique en énergie. Celle-ci ne réclame pas d'esthétique particulière, ni même de règle générale, juste une attitude respectueuse de l'environnement (du moins qui ne le pollue pas).» Ainsi s'exprimait Robert Kaltenbrunner en 1993 dans la revue *Bauwelt*.

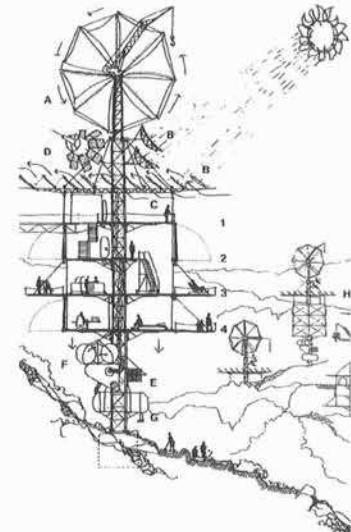
L'utilisation des documents originaux des architectes tant dans la description des projets que dans les chapitres théoriques résulte d'un choix délibéré. C'est en fait la seule manière de restituer avec fidélité la marque personnelle de chacun. On maîtrise maintenant assez bien la CAO pour pouvoir y laisser son empreinte dans les documents graphiques. Ainsi ce livre ne présente-t-il pas les informations détaillées de façon uniforme. Il est donc important d'insister sur le fait que, en matière d'innovation, reprendre des détails de façon trop rapide et irréfléchie peut se révéler risqué. Seuls des échanges directs avec des collègues procurent une certaine sécurité grâce au partage d'expériences enrichissantes et aux «transferts de technologies» essentiels et souhaitables. L'appendice rappelle ainsi les noms des participants aux différents projets et de certains fabricants. Nous présenterons donc des modèles éprouvés. Après un regard analytique sur l'histoire de la construction qui nous mènera à la situation présente, le thème sera développé, pas à pas, depuis l'urbanisme en passant par la

conception de bâtiments énergétiquement efficaces jusqu'aux détails innovants. D'importants chapitres sont consacrés à des exemples soigneusement triés de projets novateurs en Allemagne, en Autriche, en Suisse, en Espagne et en Grande-Bretagne. Dans le cadre de l'aide aux pays en développement, on s'arrêtera sur un bel exemple d'architecture durable: l'école *Dans le ciel* au Ladakh. Là aussi, les résultats de la phase pionnière de l'utilisation de l'énergie solaire trouvent une réelle application. La prise en compte des ressources disponibles sur place et de la construction traditionnelle locale, très marquée par le rude climat, est un aspect essentiel de la construction énergétiquement efficace.

Nous avons aussi tenté de faire un très large éventail des utilisations possibles. Sans prétendre être exhaustifs, nous avons voulu montrer la multitude des solutions envisageables pour répondre aux différentes situations.

Nous tenons à remercier en priorité tous les collègues qui ont mis à disposition leurs documents en toute confiance, accepté les entretiens et répondu à nos questions. Les ingénieurs chargés des réalisations techniques et de la physique du bâtiment ont eux aussi permis la diffusion d'une grande quantité d'informations. Nous voudrions remercier en particulier John Berry, Klaus Eggert, Helmut Krapmeier, Andreas Lackenbauer, Clemens Pollok, Wolfgang Schölkopf, Peter Schossig, Matthias Schuler, Michael Weese et Jan Wienold; sans oublier nos épouses, Susana Gonzalo et Ulla Fulde-Habermann qui, par leurs conseils, leur aide et leur patience, ont permis à ce livre de paraître.

Munich, janvier 2006  
Roberto Gonzalo  
Karl J. Habermann



Gauche:  
Vue partielle de la façade d'une résidence pour étudiants à Wuppertal, 1<sup>re</sup> tranche de travaux, Architekten PPP en collaboration avec Christian Schlüter et Michael Müller

En haut:  
Projet Autonomous House, Aspen, Richard Rogers, 1978. Bâtiment utilisant les seules énergies renouvelables



## **LES ORIGINES DE LA CONSTRUCTION SOUCIEUSE DES RESSOURCES ET DE L'ÉNERGIE**

Christian Lenz, Hermann Kaufmann: bâtiment de bureaux et d'habitation Schwarzach, Vorarlberg.  
Dans le garde-corps de la terrasse se trouvent des collecteurs solaires intégrés destinés à l'eau chaude sanitaire.  
Voir également p. 122

# LES ORIGINES DE LA CONSTRUCTION SOUCIEUSE DES RESSOURCES ET DE L'ÉNERGIE

« S'agit-il de construire une ville ? La première chose à faire est de choisir un endroit sain. Il doit être élevé, à l'abri des brouillards et du givre, situé sous la douce température d'un ciel pur, sans avoir à souffrir ni d'une trop grande chaleur ni d'un trop grand froid. [...] » (1) Dans son célèbre traité *De architectura*, Vitruve pose une des premières pierres de la tradition de l'architecture et de l'urbanisme. Il s'inspire pour ce faire de ce qu'ont laissé les Grecs dans ces domaines. Il explique en détail l'influence du soleil sur les différentes fonctions urbaines. Les Grecs et les Romains connaissaient en effet depuis longtemps l'importance d'une bonne orientation pour l'utilisation d'un bâtiment.

Pour le choix des matériaux de construction adaptés, on trouve aussi chez cet auteur les premières préoccupations écologiques. De l'emploi de matériaux disponibles sur place comme la pierre, le bois, la chaux ou l'argile découle toute une variété de murs, jusqu'à l'*opus caementicium*, sorte de béton primitif; mais les Romains se sont révélés moins bien inspirés pour transmettre leurs acquis techniques. Leurs systèmes complexes de chauffage par les murs et les sols sont tombés dans l'oubli et durent attendre leur redécouverte par les archéologues de l'époque moderne.

La recherche de bases exploitables pour une construction soucieuse des ressources et donc énergétiquement efficace passe par l'étude de ce que l'on appelle la construction autochtone, traditionnelle ou vernaculaire. Ces formes primitives de construction nous renseignent aussi sur les débuts des équipements domestiques. Les conditions de confort de ces premières habitations à basse énergie (voire nulle) sont toutefois à situer par rapport à chaque situation climatique, au niveau de confort atteint et à la durée de vie moyenne.

Avec sa maçonnerie de pierres grossièrement taillées et sa toiture recouverte d'herbe, la Blackhouse (ou Maison noire) – une habitation archaïque située sur l'archipel écossais des Hébrides – se fond dans un paysage rude et sans arbre. Elle est en toute logique construite avec des matériaux disponibles sur place. L'habitat pour les hommes et les animaux,

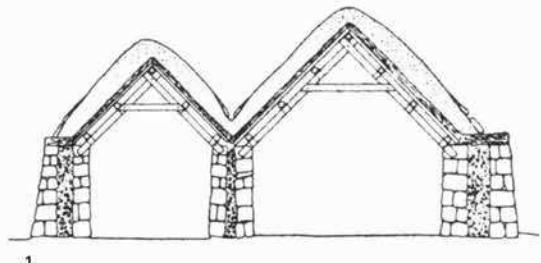
ainsi qu'une grange, constituent deux rectangles étroits et parallèles. Au centre, les salles pour vivre et dormir font face à l'écurie. Durant l'hiver, les animaux complètent par leur propre chaleur le foyer ouvert alimenté en tourbe: une vache de 600 kg génère un apport de chaleur d'environ 1200W selon les connaissances actuelles. À cette époque, les habitations étaient pratiquement habitées en permanence. Pas de cheminée, mais la fumée s'échappe au travers de petites lucarnes et par les interstices de la couverture. Les parois intérieures sont noircies par la fumée et le seul équipement technique est un crochet suspendu par une chaîne métallique au-dessus du feu. Tous les composants du bâtiment sont réutilisables ou recyclables. Cependant, cette habitation « écologique » primitive n'a jamais constitué un logement sain dans ces rudes conditions climatiques: la durée de vie moyenne ne dépassait guère 30 ans.

Une brève description détaillée de Lewis rend compte des conditions de vie et des moments peu romantiques vécus dans la Maison noire: « L'hiver, de nombreux voisins viennent chaque soir. Nous formons un cercle autour du feu et discutons de tout. Le feu peut être aussi haut qu'on le souhaite car la cheminée ne risque pas d'être incendiée. » (2) Construite en 1875, la maison a été habitée jusqu'en 1964. Remise en état et transformée en musée, elle est ouverte au public depuis 1988.

Le climat favorable de la Méditerranée offre un autre exemple d'habitat respectueux de l'environnement naturel tout à fait différent, celui des troglodytes. L'ensemble de grottes de Guadix est depuis longtemps connu des touristes. On y trouve même un hôtel. Il convient néanmoins de considérer ce site avec plus d'attention. Seules les entrées peintes en blanc, ainsi que les cheminées sortant un peu partout du sol, se remarquent dans le paysage. Les habitations sont en effet à l'abri des regards. La température constante tout au long de l'année (entre 18°C et 20°C) assure le confort intérieur sans qu'il faille recourir aux habituelles installations techniques modernes: suffisamment chaude en hiver, elle est appréciée en été car très rafraîchissante.

(1) Vitruve : *De Architectura*, texte latin, éd. Béz, Mouzeuil-Saint-Martin, 2004, traduction française par CH.-L. Maufras, Paris 1847  
(texte original : « In ipsis vero moenibus ea erunt principia. Primum electio loci saluberrimi. Is autem erit excelsus et non nebulosus, non prunirosus regionesque caeli spectans neque aestuosas neque frigidas sed temperatas... »)

(2) Alexander Fenton : *The Island Blackhouse*, Edinburgh 1978, p. 6



1



2

3



1 Coupe de la Maison noire (Blackhouse) avec la grange et l'aile d'habitation. Une étroite bande de gazon sur une fine couche de terre constitue l'extrémité du mur d'enceinte grossièrement appareillé en pierres sèches.

2 Maison noire (Blackhouse) à Arnol sur l'île Lewis, aujourd'hui musée

3 Photo intérieure d'époque: famille à Ballallan en 1934, par S.T. Kjellberg, avec l'aimable autorisation du musée d'Histoire de Göteborg



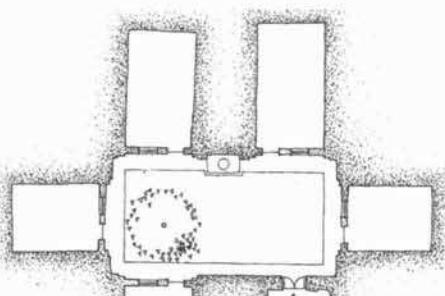
4

4 Coupe et plan de maisons troglodytiques dans un sol en loess, province du Henan, Chine

5 Maisons troglodytiques dans un sol rocheux à Guadix, Espagne

6 Maisons en terre à Humahuaca, Argentine

7 Tours de ventilation du village de New Baris, près de l'oasis de Kharga, Égypte, Hassan Fathy 1967



5



6



7

Les habitations troglodytiques situées dans la ceinture de lœss du fleuve Jaune en Chine sont enfouies avec leurs cours dans la couche argileuse. Le sol naturel situé au-dessus est cultivé. On ne peut qu'admirer le souci des ressources manifesté par ce mode de construction vieux de 6000 ans. Dans cette région au climat extrême, les écarts de températures à l'intérieur ne dépassent pas 10°C, été comme hiver. Par contre, en raison de l'humidité élevée lors des grandes pluies et de la condensation due à une mauvaise aération, la qualité de vie n'est guère satisfaisante. La densité d'habitation atteinte est elle aussi limitée.

Dans les régions chaudes, et quand la couche supérieure du sol est constituée d'argile pure ou d'argile mêlée à du sable, la terre glaise est souvent choisie par les populations sédentaires. La plasticité de l'argile (feldspath décomposé) mélangé à l'eau et la multitude d'utilisations possibles expliquent l'usage très répandu à l'échelle mondiale de la terre glaise. Les modes de construction les plus simples ont recours au pisé et à l'adobe. En raison de sa densité, ce matériau permet de conserver la chaleur, ses qualités d'isolation thermique pouvant être améliorées par l'ajout de paille. Il assure aussi le confort intérieur grâce à son pouvoir de régulation hygrométrique.

Hassan Fathy, le célèbre architecte égyptien, a repris le modèle de construction traditionnelle en terre glaise pour réaliser ses lotissements sociaux destinés à des populations défavorisées, et obtenu des résultats saisissants à New Gourma en 1946 et, en 1967, à Kharga, la ville-oasis. Les ouvertures réduites au minimum empêchent les rayons de soleil directs de pénétrer dans les pièces. Grâce à des conduits d'aération et en tirant parti de la thermique naturelle, Fathy assure une bonne circulation de l'air à travers la construction. L'orientation des bâtiments tient compte du soleil, mais aussi des vents dominants: malgré des températures extérieures très chaudes, les courants d'air permanents assurent un réel confort intérieur. Cet architecte a rassemblé toutes ses connaissances acquises, par l'expérience, dans son livre *Natural Energy and Vernacular Architecture*,

*Principles and Examples with Reference to Hot Arid Climates.* (3)

La construction traditionnelle d'une région est déterminée par le climat, d'une part, et par les matériaux locaux d'autre part. La construction à colombages se retrouve en toute logique dans des zones très boisées. Selon le terrain, la maison repose sur des pieux en bois, ou directement sur le sol, ou bien encore sur un rez-de-chaussée massif à demi enfoui. Le houard sera en paille, en terre glaise, en brique ou en pierre. Le plan s'adapte aux différentes exigences. Seul le cœur, avec son foyer et sa cheminée, ne change pas. Il occupe le centre du bâtiment et agit comme masse thermique. Le type et la fréquence des intempéries conditionnent le choix de la couverture, sa pente et le débord de la toiture. Les dimensions des fenêtres sont calculées pour minimiser les déperditions thermiques l'hiver.

L'attention prêtée aux énergies naturelles nous amène à considérer la technique perfectionnée des moulins hydrauliques ou des éoliennes. On ne devrait pas se contenter de regarder d'un œil nostalgique les témoins des siècles passés, souvent présentés dans des musées à l'air libre, mais analyser leur étonnante résistance au temps.

De nouvelles techniques et dispositifs ont été mis au point pour l'habitat urbain et rural durant la révolution industrielle. L'abandon des traditions anciennes, souvent considérées comme dépassées, a conduit à de visions innovantes.

En 1910, l'urbaniste Eugène Hénard (1849-1923) fait un premier bilan dans son ouvrage intitulé *Études sur les transformations de Paris. Les villes de l'avenir*. Deux de ses croquis résument le développement fulgurant de la technique et ses rêves futuristes. (4)

Les changements en matière de technique et d'hygiène opérés durant le 19<sup>e</sup> siècle sont montrés dans la « Rue actuelle ». Tandis que le côté gauche est jalonné de becs de gaz, le côté droit est bordé de réverbères électriques. Le vaste collecteur des égouts voit sa voûte déjà parcourue par des conduites d'air comprimé, d'eau potable, de pneumatiques postaux, de lignes



8



9

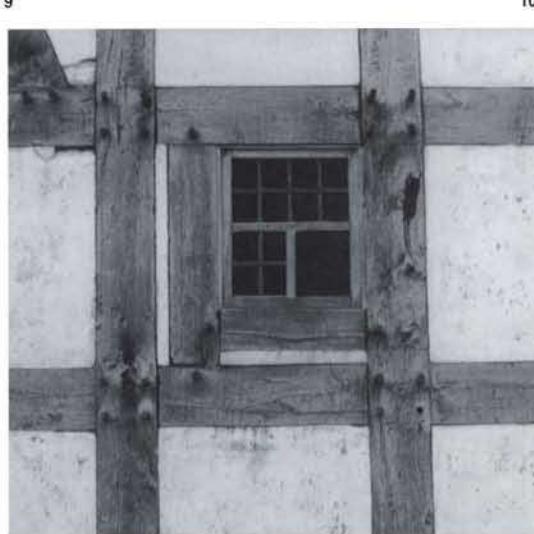
8 Moulins à vent à Spiel, district de Düren (D), 1782

9 Maison à colombages à Altenburg, canton de Neuwied (D), vers 1700

10 Maison à colombages en chanvre près de Hennef, musée de plein air de Rhénanie, Kommern, 1688. Détail d'une fenêtre: l'ouverture est réduite pour minimiser les déperditions thermiques en périodes froides.

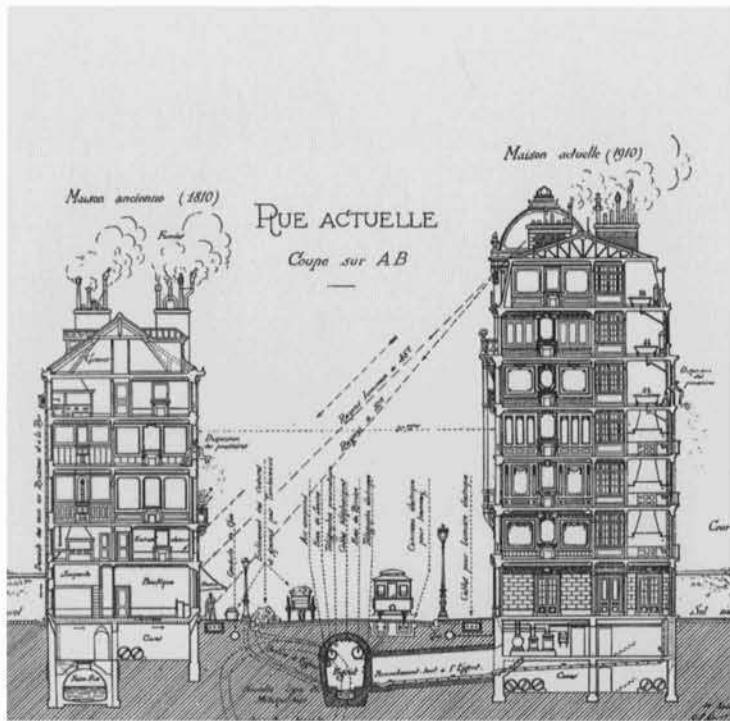
(3) Hassan Fathy:  
*Natural Energy and Vernacular Architecture*, Chicago 1986

(4) Jean-Louis Cohen:  
Eugène Hénard. *Études sur les transformations de Paris et autres écrits sur l'urbanisme*, Paris 1982, p. 345 sq.



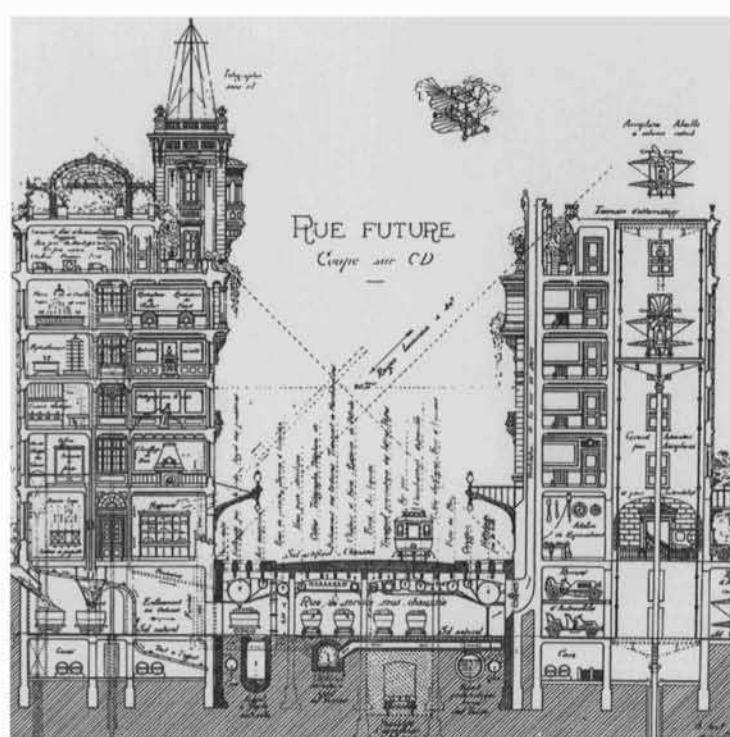
10

de téléphone, etc. À tous les étages se trouvent des salles de bains avec eau froide et eau chaude, tandis que, de l'autre côté, les ordures sont encore jetées par la fenêtre. Les fumées des cheminées proches les unes des autres sont clairement représentées des deux côtés de la rue. Ce problème semble résolu dans la « Rue future » par le chauffage urbain. À côté d'un superbe toit-terrasse aménagé en jardin et couronné d'une antenne de « télégraphe », on a prévu des aires de décollage et d'atterrissage pour le transport individuel des personnes. Un second niveau de rue, la « rue de service », augmente réellement le confort urbain, même au-delà de celui de notre époque. Le rêve d'Eugène Hénard, malgré certaines réserves, est encore à l'ordre du jour.



11

12



El Ensanche (ou en catalan, L'Eixample; terme qui en costillan et en castillan signifie l'extension) est aujourd'hui le quartier central de Barcelone. C'est surtout l'architecture spectaculaire de l'Art nouveau catalan qui rend ce quartier si attrayant. Avec habileté, Antoni Gaudí couronna ses bâtiments par des cheminées d'extraction à la décoration très inspirée. Les îlots répétitifs du 19<sup>e</sup> siècle ne manquent pas d'une certaine monotonie. Pourtant, malgré les protestations que le plan de Cerdà a déclenchées au moment de sa publication en 1859 et certaines concessions arrachées lors de sa réalisation, il reste un emblème essentiel des débuts de l'urbanisme moderne.

L'extension de Barcelone a commencé en 1854 avec la démolition des fortifications. Homme politique engagé socialement, ingénieur des Ponts et Chaussées et théoricien, Ildefonso Cerdà a réalisé plusieurs études sur les conditions de vie dans la société industrielle. Il exposa ses solutions techniques dans son ouvrage majeur *La Théorie générale de l'urbanisation* (1867, paru au Seuil en 1979, traduit en français par Jacques Boulet). Favorable au progrès technique, il connaissait aussi les théories des utopistes, hygiénistes et économistes anglais et français. Cerdà développa des solutions techniques pour répondre à des problèmes politiques et sociaux, dont l'origine était, selon lui, liée à la concentration urbaine, aux conditions d'hygiène déplorables, à la spéculation urbaine

et à l'absence d'un projet d'ensemble destiné à résoudre les problèmes du plus grand nombre. Le plan en damier prend en compte les axes de la ville ancienne et les exigences de Cerdà en matière d'espace et de lumière. À l'origine, seules deux bandes d'immeubles se faisant face devaient être construites en bordure des îlots. L'espace côté cour devait être planté et ouvert aux vents rafraîchissants venant de la mer. Sous la pression économique, on n'en tint pas compte. Jusqu'à aujourd'hui, les oriels vitrés recouvrant de bas en haut les façades sur cour sont incontournables et jouent leur rôle de tampon thermique. On retrouve ces éléments, les loggias vitrées – ou oriels – dans d'autres villes que Barcelone.

Dans le sud de l'Espagne et à La Valette, sur l'île de Malte, ils confèrent aux rues leur caractère si particulier. Le jour, les vitrages sont recouverts de nattes et de stores, les portes en retrait restant fermées. La nuit, on laisse entrer l'air plus frais. En hiver, les rayons du soleil qui y pénètrent réchauffent les logements. Ces premières façades double-peau jouent aussi le rôle de barrière efficace contre les bruits toujours plus importants de la rue.

Dans son ouvrage *Well Tempered Architecture* (5), Reyner Banham recherche les origines de la technique moderne appliquée au bâtiment; il découvre un intéressant modèle d'habitat traditionnel chez Catherine Beecher (*The American Woman's House*, paru en 1869) (6); cette militante de l'éducation des filles organise la vie librement autour d'un noyau central de services. Parmi d'autres fonctions, on notera cet ingénieux chauffage à air chaud qui amène un air «sain» et tempéré à toute la maison.

Frank Lloyd Wright s'est aussi toujours préoccupé des détails liés à la technique de ses bâtiments et au confort des utilisateurs et habitants. Le Larkin Building, un bâtiment administratif situé le long d'une voie de chemin de fer, devait être clos de façon hermétique à cause des nombreux passages de trains: ainsi est apparu un des premiers bâtiments climatisés des États-Unis. Les quatre angles sont marqués par les cages d'escaliers d'où montent les gaines de ventilation. Une verrière permet à la



13



14

15



11 « Rue actuelle » tiré de « Les Villes de l'avenir », Eugène Hénard, 1910

12 « Rue future » extrait de « Les Villes de l'avenir », Eugène Hénard, 1910

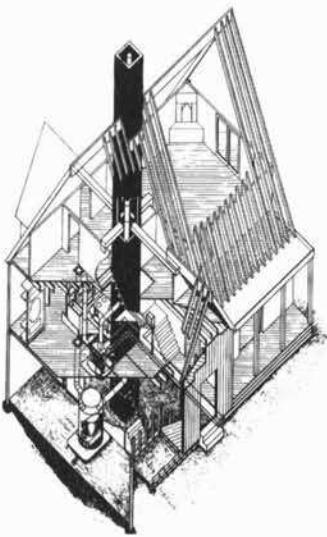
13 Palais Güell, Antoni Gaudí, 1889, cheminées de ventilation

14 Vérandas à Barcelone

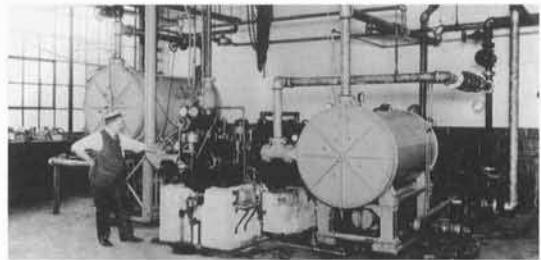
15 Perspective d'une rue avec balcons et oriels, La Valette, Malte

(5) Reyner Banham : « Die Architektur der wohltemperierte Umwelt », in Arch+ 93/1988

(6) Catherine E. Beecher and Harriet Beecher Stowe, *American Woman's Home*. Texte complet: Internet, The Project Gutenberg: [www.gutenberg.org/etexts/10000/pg10000.txt](http://www.gutenberg.org/etexts/10000/pg10000.txt)



16



17

lumière zénithale d'éclairer l'atrium central sur lequel donnent les autres espaces de bureaux à travers des galeries ouvertes: un espace de bureaux sur plusieurs niveaux.

Les premiers bâtiments de logements de Wright se reconnaissent à leurs toitures en croupe à large débord servant d'efficace protection solaire au sud et à l'ouest. À l'opposé de l'architecture vernaculaire, les plans ouverts doivent leur confort en partie à la bonne ventilation naturelle et à un système de chauffage central à eau chaude installé à chaque fenêtre. Dans un article paru dans la revue *Modern Architecture* de 1931, Wright expose ses idées sous le titre « Prairies Houses »: « Toutes les gaines de chauffage, d'éclairage et d'alimentation sont à prendre en compte de telle sorte que ces systèmes deviennent de réels constituants du bâtiment. » (7)

À cette attitude militante, mais pragmatique de Wright par rapport aux nouvelles technologies, Banham oppose les « machines à habiter » de Le Corbusier. Il peut ainsi relever les contradictions qui séparent les louables intentions des résultats atteints. Le Corbusier fournit à sa maison idéale, la « maison à l'air respirable exact », un air chaud à 18 °C (!) au moyen d'une « usine d'air respirable exact ». Des « murs neutralisants » devaient assurer le maintien de cette température: ils sont constitués de deux couches séparées par un vide permettant le passage d'air. « Dans cet étroit intervalle des membranes, on chasse de l'air brûlant si c'est à Moscou, de l'air glace si c'est à Dakar. Résultat: on a réglé de telle façon que la paroi interne, la membrane intérieure conserve une température de 18 degrés. Et voilà!

La maison russe, parisienne, de Suez ou de Buenos-Aires, le paquebot de luxe qui traverse l'équateur, seront hermétiquement clos. En hiver, il y fait chaud, en été il y fait frais, ce qui veut dire qu'en permanence, il y a 18 degrés d'air pur et exact à l'intérieur.

16 « Maison de la femme américaine », Catherine Beecher 1869

17 Willis H. Carrier devant la première turbomachine frigorifique, 1922

18 Bâtiment Larkin, Frank Lloyd Wright 1904, vue extérieure

19 Bâtiment Larkin: espace intérieur

20 Willits House, Frank Lloyd Wright, 1902

(7) Frank Lloyd Wright: *Schriften und Bauten*, choix de textes effectué par Edgar Kaufmann et Ben Roeburn, réédition, Berlin 1997, p. 44



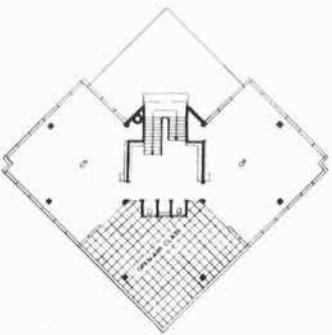
18



19



20



21

La maison est hermétique! Nulle poussière désormais n'y pénètre. Ni mouches, ni moustiques. Pas de bruit! » (8). À cette époque, l'« air conditionné » avait déjà été inventé mais n'était utilisé que dans l'industrie. L'idée d'une fermeture hermétique des locaux revient à l'ordre du jour avec la technologie des maisons passives.

«Du soleil, de l'air et une maison pour tous»: tel était le slogan d'une exposition de 1932 qui s'est tenue sous la tour de la Radio de Berlin. Le résultat du concours «Das wachsende Haus» (La maison croissante) a été présenté sous la forme d'une maquette à échelle 1:1. Des éléments de façades vitrées inclinées et de jardins d'hiver signalent l'amorce d'une utilisation passive de l'énergie solaire. (9)

Avec son école en plein air de 1930 à Amsterdam, Johannes Duiker renouvelle la conception des bâtiments d'enseignement, et ce, dans un environnement de forte densité de construction. Le bâtiment reprend en intégralité les nouvelles idées développées au sujet de la manière de traiter les enfants. Considérés comme des moyens favorisant la santé et le processus d'apprentissage, la lumière, l'air et le soleil sont pris en compte dans la conception du bâtiment. Le climat tempéré des Pays-Bas autorise l'utilisation généreuse du verre. Mais c'est plus tard, à Wallasay, que l'architecte anglais Emslie Morgan mettra pour la première fois en œuvre le verre dans le domaine scolaire avec un souci de performance énergétique. (10)

«De l'intérieur, on ressent un contact ininterrompu avec le monde extérieur. Le soleil et la lune vont illuminer le paysage et le ciel sera parfaitement visible, mais les effets néfastes du climat, de la chaleur étouffante, de la poussière, de la vermine, de la lumière blafarde, etc., seront régulés par la peau de telle sorte que l'intérieur devienne un jardin d'Eden. » (11)

Dès le début des années 1950, Buckminster Fuller réfléchissait à l'idée de recouvrir des villes entières. Il conçut alors le projet de placer Manhattan sous une coupole et, dix ans plus tard, suivront des idées comparables, comme la colonisation de l'Arctique et de l'Antarctique. La maîtrise absolue des conditions climatiques est un vieux rêve de l'humanité. Fuller put le



22



23

24



21 Openluchtschool (école de plein air) à Amsterdam, Johannes Duiker 1930, plan

22 «Sonne, Luft und Haus für alle» (Soleil, air et maison pour tous), exposition à Berlin, 1932

23 Cf. 21: vue générale

24 École à Wallasay, Emslie Morgan, 1961, façade: il est prévu de ne chauffer le bâtiment qu'avec le rayonnement solaire et la chaleur émise par l'éclairage artificiel (U.K Patent Specification 1022411).

(8) Le Corbusier: *Précisions sur l'état présent de l'architecture et de l'urbanisme*, éd. Crès, Paris 1930

(9) Thomas Katzke: «Netzwerken à Berlin», in Bauwelt 17/2004, p. 12

(10) Brian Carter, Peter Warburton: «Die Entwicklung einer Solararchitektur», in Detail 6/1993, p. 671

(11) «From the inside there will be uninterrupted contact with the exterior world. The sun and moon will shine to the landscape, and the sky will be completely visible, but the unpleasant effects of climate, heat, dust, bugs, glare, etc. will be modulated by the skin to provide garden of Eden interior.» Buckminster Fuller: Your Private Sky, Baden 1999, p. 434

25 Pavillon des États-Unis  
à l'Exposition universelle de Montréal,  
Buckminster Fuller,  
1967

26 Projet pour  
l'aménagement d'une  
carrière à ciel ouvert,  
Per Krusche, 1977,  
élévation sud

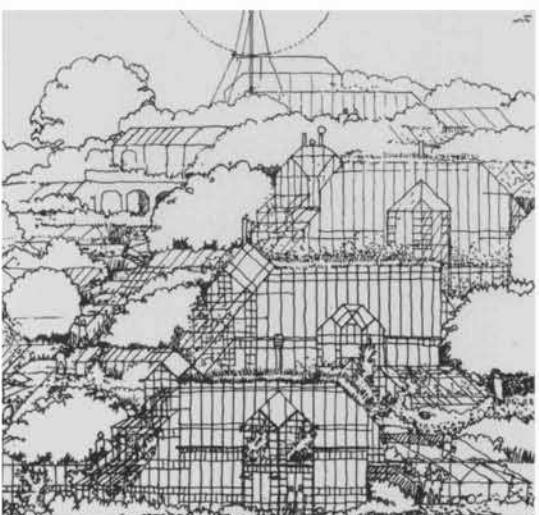
27 Projet pour l'aménagement  
d'une carrière à  
ciel ouvert, coupe de  
la partie logement et  
activités

(12) [www.clubofrome.org](http://www.clubofrome.org)

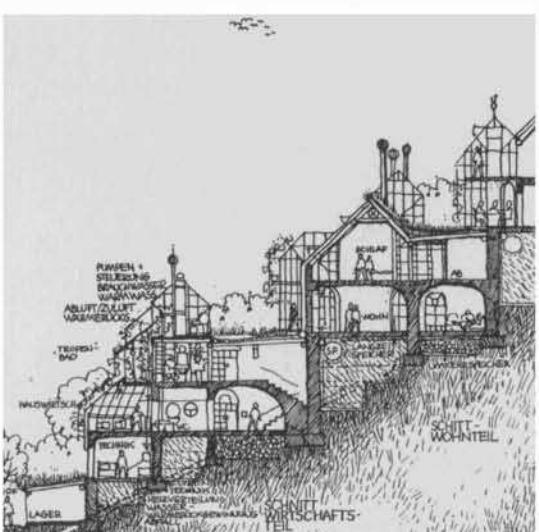
(13) P. et M. Krusche,  
D. Althaus, I. Gabriel:  
*Ökologisches Bauen*,  
Wiesbaden/Berlin 1982



25



26



réaliser à une petite échelle lors de l'Exposition universelle de Montréal de 1967: l'euphorie technique était alors totale. Depuis la destruction de la membrane plastique au cours d'un incendie en 1976, seule la résille structurelle subsiste. L'idée d'une coupure radicale avec le climat naturel est certes attrayante mais n'en reste pas moins inquiétante d'une certaine façon.

Dès 1968, le Club de Rome s'était constitué comme « cercle de citoyens du monde réunis par le souci de l'avenir de l'humanité et dont le devoir consiste à agir pour le changement en tant que catalyseur global et indépendant de tout intérêt. » Le rapport intitulé *Halte à la croissance?* (12) paru en 1972 sous l'autorité entre autres de Denis L. Meadows fit sensation. De nombreuses institutions et commissions sont depuis chargées d'en tirer les conséquences, à savoir « mettre sur pied le plus vite possible un marché mondial socio-économique ». La crise pétrolière de 1973 n'a fait que rendre la situation encore plus préoccupante que prévu. La nécessité d'un rapport plus responsable vis-à-vis des ressources disponibles fait depuis l'objet de nombreuses études. Le secteur de l'aménagement urbain et de la construction est depuis longtemps reconnu comme le plus déterminant. Il a fallu attendre un certain temps avant qu'un livre débouche sur de nouvelles recommandations en matière de construction: il s'agit du premier manuel contenant des informations fondamentales, publié en 1982 sur papier recyclé – à peine remarqué – par le département fédéral allemand pour l'environnement, *Oekologisches Bauen (La construction écologique)*. (13) L'équipe de rédaction, Althaus, Gabriel, Krusche, Weig-Krusche, s'est efforcée d'examiner de façon globale les alternatives proposées dans l'ensemble du domaine de la construction. Les questions fondamentales, tout comme les détails, furent abordés sans le moindre détour. Les cycles climatiques, naturels et ceux des matériaux furent analysés, les moyens passifs et actifs de production de l'énergie furent comparés; les opinions des personnes partageant les mêmes préoccupations sont analysées et reproduites. L'architecte suédois Bengt Warne teste dans sa propre maison la possibilité de réduire la consommation



28

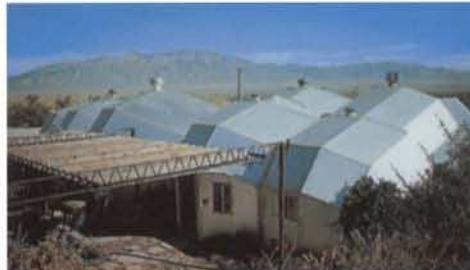
d'énergie et de minimiser autant que possible les nuisances liées aux travaux sur l'environnement naturel proche. Il est donc logique que l'architecte Per Krusche, et ses compagnons d'armes, fassent ensemble des expériences sur leur propre habitat. L'autoconstruction permet de transformer progressivement une grange en maison d'habitation et en bureau et leur servit de champ d'expériences. Devenus célèbres au début des années 1970, les bâtiments des hippies et autres marginaux des États-Unis ont constitué une autre source d'inspiration.

Au Nouveau-Mexique, Steve Baer est parvenu à réaliser un bâtiment tout à fait ingénieux et autonome sur le plan énergétique: une fois remplis d'eau, des bidons de pétrole usagés servent d'accumulateurs solaires.

Le projet de lotissement déjà engagé en 1977 pour une carrière à ciel ouvert (voir illustrations ci-contre) complète le manuel mentionné ci-dessus. « La revitalisation d'un terrain appauvri au niveau biologique, et même mort, peut se faire partout, même dans les grandes villes (New York, etc.) car les maisons, places et rues sont des biotopes qui peuvent reprendre vie », est-il écrit de manière encourageante.

Quand, au début des années 1980, Peter Sulzer et Peter Hübner se mirent à construire avec leurs étudiants une résidence universitaire en autoconstruction à l'Université technique de Stuttgart, ils le firent pour les mêmes raisons. Les bâtiments sont édifiés en structure bois légère en vue d'une réutilisation future. La dimension solaire, absente de ce premier projet, sera prise en compte dans les suivants. S'y ajoute l'idée d'une formation basée sur la pratique et la participation des futurs usagers au cours de toutes les phases de la réalisation.

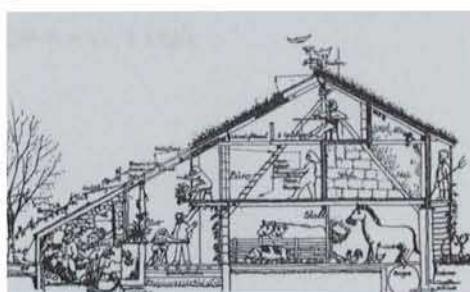
Pour le projet Landstuhl de 1982, une rangée entière de maisons d'habitation fut pour la première fois équipée de systèmes solaires; on les testa et les évalua. La maison avec cour-jardin, d'Eissler, Hoffmann et Gumpf, est conçue de telle sorte qu'elle fonctionne en réseau. Il est prévu de produire de l'énergie solaire au moyen de la grande façade sud vitrée équipée d'ailettes réglables et d'une isolation thermique intérieure amovible – deux dispositifs faciles à manipuler; cette énergie est ensuite stockée



29



30



31



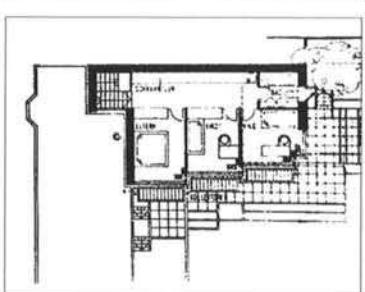
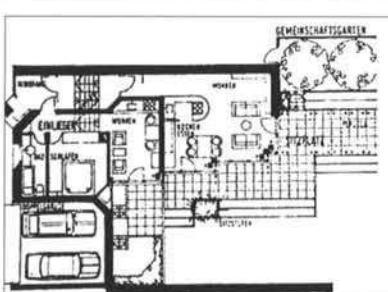
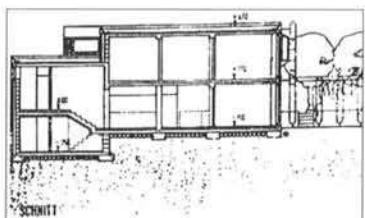
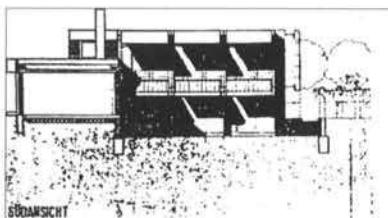
32



- 28 Bengt Warne, Naturhuset, 1976  
 29 Maison à New Mexico, Steve Baer, 1972. La chaleur accumulée le jour est utilisée pour les nuits froides.  
 30 Cf. 29: vue rapprochée avec le mur solaire apparent  
 31 Bureau dans une ancienne grange, Arche Nova (Per Krusche, Martin Schaub, Claus Steffan, Maria Weig-Krusche), 1983, coupe  
 32 Cf. 31: vue extérieure  
 33 Résidence pour étudiants Bauhäusle à Stuttgart-Vaihingen, Peter Sulzer, Peter Hübner, 1983



34



35



36

37



dans l'importante masse du bâtiment et restituée en fonction de la demande par convection libre et rayonnement. Une analyse effectuée par R. Gonzalo a révélé que le système de chauffage complémentaire adopté était trop lent et qu'il supposait une très grande discipline de la part des utilisateurs. (14)

Bien sûr, la maison individuelle n'est, en règle générale, pas un bâtiment énergétiquement efficace. De nombreux composants solaires ont néanmoins été développés pour elle, installés, testés et perfectionnés. Le projet présenté ici se veut un exemple parmi un grand nombre de projets pilotes comparables. Dans un article de 1983 intitulé « Maisons à énergie minimale », Horst Küsgen fit le constat suivant: « La plupart des plans d'urbanisme empêchent, souvent à l'insu de leurs auteurs, une conception énergétiquement efficace des bâtiments. » Par la suite, il écarta sans hésitation la maison individuelle et se déclara en faveur d'une forte densité de bâtiments d'habitation à plusieurs niveaux. Il apporte une vue d'ensemble en établissant un comparatif des différentes expérimentations de systèmes alternatifs de production d'énergie. Il évoque aussi bien la ventilation forcée avec récupérateur de chaleur que les collecteurs d'air ou les systèmes à inertie. Il se montre aussi sceptique quant à l'efficacité énergétique réelle des vérandas, un emblème des tenants de la construction solaire. (15)

Les maisons enterrées sur le campus de l'université de Stuttgart-Hohenheim, une résidence pour étudiants de 158 chambres, ne sont pas autoconstruites; on en doit la conception à des professionnels. La construction à basse énergie suppose le recours à l'énergie solaire passive, un pourcentage de lumière du jour important et une végétalisation intense de la toiture. Les eaux de pluie sont recueillies et peuvent s'écouler par infiltration, les façades sont végétalisées, ce qui permet d'éviter d'éventuelles surchauffes estivales. L'enfouissement dans le terrain répond au souhait écologique d'une mise en œuvre de mesures de construction à même de compenser les dommages infligés à la nature.

Au Danemark, en plus des aspects qualitatifs et économiques de la construction, on se préoccupe aussi des questions énergétiques.

Les habitations construites à Greve par Bente Aude et Boje Lundgaard sont le résultat d'un concours d'architectes. Une disposition habile des plans liée à l'utilisation de matériaux de cloisonnement aisés à manipuler mais performants permet de réelles économies d'énergie. En hiver, seule la partie très isolée, au nord, est habitée, la partie centrale l'étant seulement par beau temps. La chaleur du soleil est transmise par les vérandas et pénètre au centre de la maison. Durant les demi-saisons, les zones au nord et au centre sont utilisables et l'ensemble durant l'été. Seul un bon usage des portes-fenêtres, des persiennes et des volets roulants isolants permet de maximiser les économies d'énergie. D'autres quartiers reprennent ce principe.

En Autriche, et surtout dans le Vorarlberg, une réelle volonté d'utiliser le solaire dans le bâtiment se manifeste en dépit – ou en raison – de conditions climatiques difficiles. L'engouement pour les maisons à la fois écologiques et économiques explique l'apparition de maisons pluri-familiales – souvent organisées sur la base de la communauté. C'est l'occasion de prévoir des locaux supplémentaires à usage collectif qui se présentent soit sous forme de grands volumes vitrés en saillie, soit d'atriums intérieurs recouverts par une verrière. On obtient ainsi des espaces tampons très efficaces qui peuvent être utilisés en hiver ou en demi-saison. La présence d'une tradition locale de construction en bois va dans le sens de ces recherches de solutions énergétiquement efficaces. La diffusion active des connaissances acquises grâce à des séminaires et à de nombreuses publications joue là un grand rôle.

La construction énergétiquement efficace et solaire a été introduite en ville à l'occasion de l'Exposition Internationale d'Architecture de Berlin (IBA). Un rapport largement diffusé dans la revue *Bauwelt* sur la rangée des cinq bâtiments à basse consommation d'énergie au bord du Landwehrkanal montre l'engagement des pouvoirs publics : « L'objectif des maisons à basse consommation de Berlin n'est pas de construire des bâtiments expérimentaux pour des techniques permettant une basse consommation d'énergie, mais de démontrer le niveau d'avancement actuel de la technique et de la valider par la pratique et l'usage des



38



39



34 Maison construite dans le cadre du projet Landstuhl, Eissler, Hoffmann, Gumpf, 1982, vue du sud  
35 Cf. 34 : élévation sud-ouest, coupe, plans

36 Résidence pour étudiants à Stuttgart, Kaiser, Schmidges, Minke, 1984  
37 Immeuble de logements à Greve, Danemark, Bente Aude, Boje Lundgaard, 1985

38 Quartier résidentiel à Copenhague, Faellestegnestuen, 1987  
39 Immeuble d'appartements à Fußach, Mittersteiner, Larsen, 1988 ; vue sur le jardin d'hiver commun

40 Cf. 39 : vue sur le jardin d'hiver commun depuis l'extérieur  
(14) Roberto Gonzalo : *Passive Nutzung der Sonnenenergie – Grundlagen für den Gebäudeentwurf*, Munich 1990, p. 89

(15) Horst-Küsgen : « Minimalenergiehäuser », in *arcus* 3/1983, p. 137 sq., cité p. 137



41



42

41 Cinq immeubles à basse consommation d'énergie à Berlin, von Gerkan, Marg und Partner; Pysall, Jensen, Stahrenberg; Faskel, Nicolic; Schiedhelm, Axelrad; Klipper + Partner, 1985

42 Immeuble solaire à Berlin, Schreck, Hillmann, Nagel avec Kempchen, Güldenberg, 1988

43 Rénovation écologique modèle à Munich, Per Krusche, Arche Nova, 1989

44 Immeuble d'habitation à Stuttgart, Christian Gullichsen, 1993

45 Immeuble d'habitation à Stuttgart, Michael Alder, 1993

(16) Axel Jahn, Klaus Sommer: «*Fünf Energiesparhäuser am Landwehrkanal in Berlin*», in *Bauwelt* 4/1985, p. 126 sq.

(17) Robert Kaltenbrunner: «*Die Energiesparhäuser der IBA à Berlin*», in *Bauwelt* 38/1993, p. 2056 sq.



43



44

habitants.» (16) L'analyse critique renvoie directement aux problèmes d'urbanisme: un îlot fermé aurait de beaucoup amélioré l'efficacité énergétique. En cours de réalisation, on a supprimé de nombreux équipements techniques alternatifs. En 1993, Robert Kaltenbrunner fit des recherches et confirma les premières impressions. Il fit ainsi le constat suivant: «Les habitants ont soit mal compris, soit refusé d'accepter les intentions de l'architecte.» (17)

La maison dite solaire de la Lützowstraße est un projet IBA encore plus significatif. Il s'agit d'un îlot fermé comportant des jardins d'hiver au sud, des collecteurs d'air et, derrière, des panneaux isolants coulissants. En tant que système passif, le sol du jardin d'hiver fait office d'accumulateur thermique. L'air réchauffé des collecteurs situés entre les jardins d'hiver est pulsé par des ventilateurs vers les cavités du plafond creux. Un système de régulation gère le fonctionnement durant l'hiver et les demi-saisons – quand l'ensoleillement est suffisant. À Munich, le projet de réhabilitation écologique modèle d'un immeuble d'habitation datant de 1898, déclaré monument historique, est hélas resté une exception. On voulut, dans un grand élan, pourvoir ce bâtiment vétuste de nombreux équipements techniques: des balcons en partie vitrés servant d'espace tampon, des capteurs solaires pour chauffer l'eau chaude sanitaire, un échangeur thermique pour les évacuations des cuisines et un espace tampon, une installation de recyclage des eaux grises et une autre pour le compostage des déchets biodégradables. Le maître d'ouvrage n'a jamais donné suite aux questions réitérées de l'auteur concernant le fonctionnement futur du bâtiment. Dans ce domaine, les informations réunies en cours d'utilisation du bâtiment sont au moins aussi déterminantes que l'enthousiasme manifesté au moment des décisions de conception. On peut supposer que responsables et utilisateurs ont été en fin de compte dépassés par les problèmes.



De même, lors de la réalisation de bâtiments d'habitation pour l'exposition IBA à Stuttgart en 1993, on put constater un écart par rapport aux intentions de départ. Malgré le peu d'innovations techniques, les bâtiments de Gullichsen

et Alder satisfont aux exigences actuelles en matière de logement.

Le pavillon d'accueil de l'établissement d'enseignement à Windberg reste une exception. Une bonne insertion dans le site, la différenciation judicieuse des façades et un équipement technique adéquat justifient les nombreuses publications en Allemagne et à l'étranger.

On doit à l'agence d'architecture danoise Tegnestuen Vandkunsten de nombreux lotissements de grande qualité plastique. On ne s'intéresse aux aspects d'efficacité énergétique que dans certains projets particulièrement subventionnés, comme le lotissement de Skejby. Les collecteurs intégrés aux façades jouent un rôle aussi important que l'orientation du bâtiment, l'organisation des plans et la différenciation des façades en fonction de leur orientation.

Le bâtiment d'habitation des architectes Fink et Jocher à Coburg présente le même aspect. Alors que la façade nord semble fermée à cause de ses petites ouvertures, la façade sud s'ouvre au soleil par ses grandes surfaces vitrées. Des éléments d'isolation transparente (TIM) intégrés avec habileté font partie d'un collecteur. Par l'intermédiaire d'éléments en béton préfabriqué situés derrière et équipés d'échangeurs de chaleur, l'excédent de chaleur est dirigé vers un accumulateur thermique placé dans la cave. Le plan d'urbanisme, objet d'un concours, a été confié aux architectes H2R (voir aussi le projet p. 56).

Ce bref survol historique de la construction énergétiquement efficace n'a pu aborder que certains aspects essentiels et ne prétend en aucun cas à l'exhaustivité. Ce qui nous importait, c'était avant tout l'enseignement que l'on peut en tirer pour la construction actuelle.

Les rapports existants entre les ressources locales et la tradition constructive vernaculaire se sont perdus avec l'extension rapide et mondiale des moyens de transport. Ainsi, la pierre naturelle de Chine ou d'Amérique du Sud peut s'avérer meilleur marché en Europe que la pierre locale. Pour décorer le musée de Riehen en porphyre rouge de Patagonie, matériau bien plus résistant, Renzo Piano s'est inspiré du grès local. Le problème de la durabilité n'est pas simple.



46



47



48

46 Résidence d'un établissement d'enseignement à Windberg, Thomas Herzog et Peter Bonfig, 1991

47 Cf. 46: façade d'entrée

48 Ensemble de logements à Skejby, Tegnestuen Vandkunsten, 1998

49 Ensemble de logements à Coburg, Fink + Jocher, 1999. Le bilan énergétique surpassé de 40% les exigences réglementaires. Les surfaces non vitrées, en béton préfabriqué bleu foncé, intègrent des échangeurs thermiques.



49

50 Les célèbres tours de ventilation à Hyderabad, Pakistan, tirées du livre de Bernard Rudofsky *Architecture without Architects*

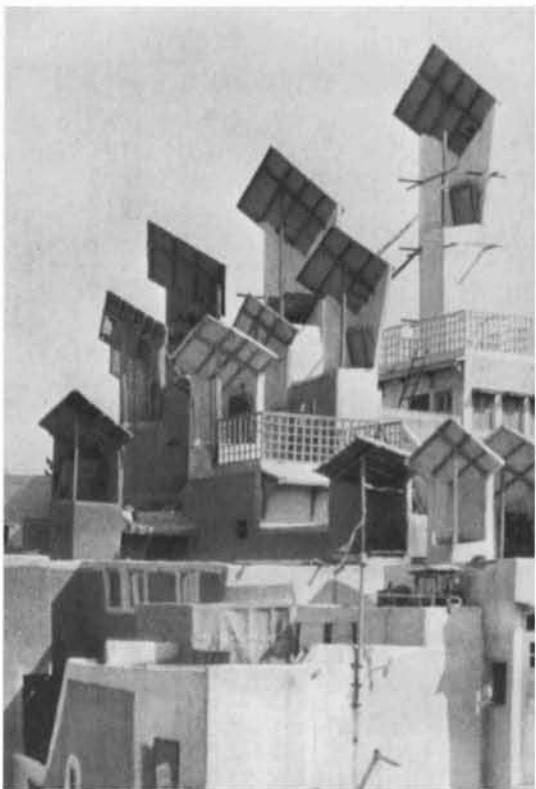
51 Tours à vent d'un immeuble d'habitation à Beddington, dans la banlieue londonienne de Sutton, Bill Dunster, architecte, et Chris Twinn, ingénieur thermicien, 2002

Page de droite :

52 Immeuble d'habitation à Stuttgart, Christian Gullichsen, 1993; vue sur la loggia vitrée: sans chauffage, servant seulement de tampon thermique

Le confort actuel lié à la technique s'est surtout développé au cours de ces derniers trois siècles. Cela explique l'augmentation de l'espérance de vie. Cependant, la demande sans arrêt croissante en énergie qui accompagne le développement technique et le gaspillage des ressources disponibles ont longtemps été négligés. L'émergence d'une conscience écologique de l'opinion ne s'est faite qu'à petits pas et sous la pression de l'urgence ; elle est visible au travers d'événements comme la Charte d'Athènes, la crise pétrolière, la catastrophe de Tchernobyl, la conférence de Rio ou la ratification du protocole de Kyoto.

Nombre de technologies disponibles aujourd'hui ont été mises au point et testées par des bricoleurs pour leur propre usage, mais la maison individuelle ne peut être le but d'un projet de maison passive ou à consommation nulle. Les autorités devraient mettre un terme au mitage de notre paysage. Seules les constructions de logements à forte densité liées à des enveloppes très isolées et à des systèmes de ventilation performants ont un sens. Les exemples qui vont suivre montrent que la phase de développement doit en toute logique se poursuivre par l'intégration automatique des nouvelles technologies dans l'architecture. Son histoire nous enseigne que l'esthétique participe aussi du caractère durable.



50

51







**URBANISME ÉNERGÉTIQUEMENT  
EFFICACE:  
PRINCIPES ET STRATÉGIES**

# URBANISME ÉNERGÉTIQUEMENT EFFICACE: PRINCIPES ET STRATÉGIES

## Situation de départ

Des principes et des stratégies d'ordre général régissent la construction énergétiquement efficace. Si l'on recherche un équivalent en urbanisme, la situation devient vite illisible. Cela est dû, d'une part, à la multitude de facteurs à prendre en compte dans ce domaine et, d'autre part, à leur évaluation et à leur mise en œuvre source de bien des discussions. Il s'agit aussi de l'instauration de règlements d'urbanisme par les politiques – pour lesquels entrent en jeu par exemple le plan local d'urbanisme, la desserte ou la circulation – que des aspects techniques comme le mode de distribution de l'énergie ou l'utilisation des énergies renouvelables.

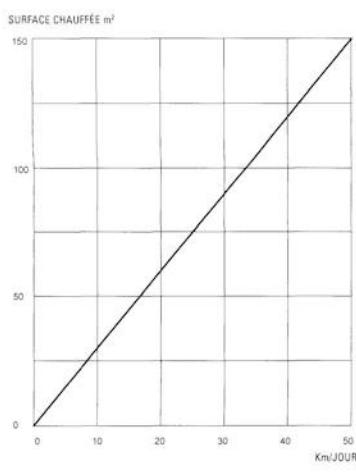
D'une manière générale, on peut faire le constat suivant: plus l'échelle d'un système est grande, plus complexes sont les mécanismes qui le régissent dans son ensemble. Ainsi, le nombre de facteurs déterminants au niveau urbain croît-il en proportion de celui des décideurs, si bien que les mécanismes de contrôle et de régulation perdent en efficacité. Il n'est pas rare de voir des situations où l'activité conceptuelle pure s'exerce dans un contexte qui contredit les principes de l'efficacité énergétique. Les efforts déployés pour un aménagement durable et efficace sur le plan de l'énergie ne peuvent plus alors équilibrer les effets négatifs résultant des exigences de mobilité, de desserte et d'approvisionnement.

Les possibilités pour un architecte d'influer sur le plan d'urbanisme s'avèrent dans la plupart des cas limitées et peu efficaces. Cette constatation ne doit en aucun cas excuser une démarche se bornant à l'observation d'un seul critère et donc à exonérer l'architecte de sa responsabilité. Modifiables ou non, les relations doivent être considérées dans toute leur étendue. Dans l'intérêt du développement futur, on devra s'appuyer sur les inévitables rétroactions d'un projet et, dans la mesure du possible, corriger les erreurs du passé. Un urbanisme conçu pour durer suggère une autre approche. Puisque la construction détermine le cadre d'éventuels développements durables, elle peut aussi attirer l'attention sur les limites et les potentialités des bâtiments eux-mêmes et aussi des espaces de vie collectifs qu'ils engendrent.

Les conditions politiques et sociales sont essentielles – même si elles ne concernent pas directement la conception des plans – car elles déterminent de manière fondamentale et en amont le cadre de tout développement urbain. Nous les évoquerons brièvement. Pour l'approfondissement de cette question, nous renvoyons à une vaste bibliographie. Sur le plan pratique, les décisions lourdes de conséquences sont très difficiles à prendre: même lorsqu'un consensus sur des objectifs généraux est obtenu au sein de la population et que l'on a reconnu l'importance qu'il y a à encourager une démarche durable, l'engagement disparaît dès que des intérêts personnels entrent en jeu.

La nostalgie de la nature et la fuite hors des villes qui en a résulté expliquent la croissance atone et anarchique des villes durant ces dernières décennies. La conséquence la plus récente du mouvement moderne consiste, outre la séparation des fonctions, en une tendance qui a été sur le tard reprise par un courant écologique mal compris. Les villes ont été délaissées car elles seraient inadaptées à la vie en symbiose avec la nature. La vie «au vert» ne pouvait en réalité être envisagée sans renoncer aux infrastructures de services et de distribution. La ville en tant que centre de services proche devait en outre satisfaire la demande en emplois et en commerces. Conséquence d'une société de consommation, dans laquelle l'écologie devient aussi un produit, cet état de fait ne peut se prolonger que pour un petit groupe de «bobos» privilégiés, qui peuvent se le permettre. Car la maison individuelle, même énergétiquement très efficace, ne peut être une solution valable partout et pour tous.

Le résultat en est le mitage du paysage, de telle sorte que la vie tant désirée en pleine nature devient une illusion. Au lieu de cela, on trouve, autour de quelques maisons individuelles énergétiquement peu efficaces, d'étroites bandes de pelouse de la largeur prescrite par les règles de lotissement. L'aspect négatif de ce développement est renforcé par les mesures fiscales (par exemple les allocations de logement non différencierées, les abattements liés aux trajets domicile/lieu de travail), la consommation d'énergie, les émissions polluantes et le bruit occasionné par les navettes quotidiennes.



1 Comparaison entre la consommation quotidienne d'une voiture (5 l/100 km) pour le trajet moyen domicile/travail et la surface d'un logement à basse consommation d'énergie chauffé avec cette même énergie



2



3

Depuis peu, on recherche des solutions pour inverser cette tendance. Dans plusieurs grandes villes comme Londres ou Paris, de vastes enquêtes et projets sont menés pour trouver des alternatives écologiques, durables et sociales au logement dans le tissu urbain. Le but essentiel est de rendre la vie en ville plus attrayante. Les pouvoirs publics peuvent à cet égard donner des signaux déterminants. Pour en rester aux directives, les considérations urbanistiques correspondent rarement aux critères utilisés pour l'attribution de subventions à des modes de construction énergétiquement efficaces. On se focalise sur les seuls bâtiments. Même des typologies comme la maison individuelle sont encouragées, du moment que leur bilan énergétique répond aux exigences. On oublie ce faisant que les conséquences négatives inhérentes à ce type de bâtiment ne pourront être compensées par aucune mesure d'économie assez efficace car le mitage constant du paysage, le coût des infrastructures dû à un épargillement des constructions

et la dépendance vis-à-vis des moyens de transports privés impliquent un accroissement de la consommation d'énergie qui ne ressort pas dans le bilan du bâtiment.

Les mesures d'aide à la construction sont à apprécier en fonction de leurs effets sur la ville – et de leur caractère durable. Une inflexion de l'incitation à la construction neuve au profit de la rénovation, de la densification urbaine et de la requalification de zones urbaines en friche pourrait faire revivre des quartiers anciens ou délaissés. La réduction des transports, la création de réseaux de voies piétonnes et cyclables, l'utilisation d'infrastructures existantes (rues, voies de desserte, d'approvisionnement et d'évacuation, liaison au réseau de transports en commun), ainsi que l'arrêt du mitage du paysage et le renforcement des liens de voisinage, l'accessibilité des équipements culturels et des services sont autant d'avantages de ce développement qui revalorise l'espace de vie en diminuant la consommation énergétique.

**2** Plan directeur du quartier Messestadt Riem, près de Munich : ce projet prévoit une mixité de bâtiments : maisons passives, maisons à basse consommation d'énergie, logements adaptés, etc. Une bonne desserte, des équipements sociaux, commerciaux et de loisirs favorisent un mode de vie responsable du point de vue énergétique.

**3** Bâtiment d'habitation avec crèches au standard maison passive, Messestadt Riem, Munich, NEST GmbH, 2002



5



4



6



7

Dans les villes moyennes et grandes, les surfaces disponibles pour la construction neuve sont de plus en plus réduites, de telle sorte que les réglementations futures ne pourront s'appliquer qu'en supposant un agrandissement de la ville ou une rénovation du bâti existant. La première hypothèse est peu souhaitable en raison des conséquences qu'elle entraînerait; la rénovation par démolition ou réhabilitation permettrait d'atteindre une densité supérieure et une meilleure utilisation des surfaces construites. Même sans démolition, une densification des structures existantes est une bonne mesure du point de vue énergétique. En règle générale, une densification est l'occasion d'un bilan énergétique du bâti.

Il convient avant tout de changer de fonction les bâtiments et surfaces restés inoccupés comme les anciens sites industriels ou les casernes. Ces espaces, souvent situés au centre-ville, offrent des sites idéaux du point de vue écologique en raison de la proximité des infrastructures et des réseaux de transport. Ils sont un endroit rêvé pour la création de logements collectifs, et des objectifs de durabilité guideront les opérations de construction.

## Développement

L'histoire récente de la construction abonde en précurseurs partisans d'un aménagement inspiré par l'écologie, comme par exemple les mouvements des cités-jardins ou bien les cités ouvrières de l'époque industrielle. Pour ces exemples historiques, les considérations énergétiques liées à la construction étaient cependant secondaires; en réaction aux bouleversements de l'industrialisation, la dimension sociale figurait au contraire au centre des préoccupations. Le recours à l'énergie était alors plutôt envisagé dans un contexte optimiste et ignorant des contraintes et privations actuelles.

Une attitude consciente de l'énergie et de l'utilisation du rayonnement solaire permettant une réduction de la consommation de chauffage dans le logement s'est manifestée avec ce que l'on a appelé l'« architecture solaire ». La transition entre des bâtiments expérimentaux isolés

4 Woningbouw Kiefoek à Rotterdam, JJP Oud, 1925-30. Depuis sa rénovation, cet ensemble répond aux exigences actuelles en matière de logement.

5 Bâtiment d'habitation au standard maison passive, projet de développement urbain de Am Ackermannbogen, Munich, A2-Architekten, NEST GmbH, 2004. Réhabilitation d'une ancienne caserne

6 Immeuble d'appartements à Passau-Neustift, H. Schröder et S. Widmann, 1989. Construit dans le cadre des projets pilotes bavarois, ce programme met en œuvre les principes d'économie d'énergie et d'utilisation passive de l'énergie solaire.

7 Immeuble d'habitation et de bureaux à Wiesbaden, A-Z Architekten, 2002. Construction sur une parcelle exiguë au standard passif (voir aussi p. 68)

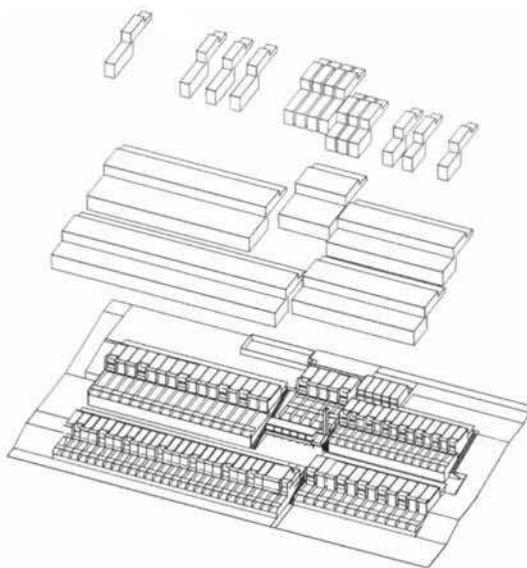
et la vaste prise de conscience des liens entre l'architecture et l'énergie n'a eu lieu qu'au cours des années 1970.

Au début, les mesures d'utilisation passive de l'énergie solaire dans l'habitat n'ont presque concerné que des maisons isolées. Cela s'explique en partie par leur caractère expérimental et par les risques encourus, trop élevés pour une application à plus grande échelle. En outre, l'examen et l'optimisation ultérieure des systèmes solaires en agissant sur les situations insatisfaisantes (ombrages, orientation imparfaite, etc.) étaient plus aisés avec des maisons isolées.

Les expériences et l'intense recherche effectuée au cours des années suivantes ont permis d'accumuler des connaissances qui ont ouvert aux architectes la voie à une mise en œuvre plus large de ces principes éprouvés. Les équipements techniques (panneaux solaires, installations de traitement d'air, etc.) sont eux aussi plus perfectionnés et moins chers en raison des économies d'échelle. La construction énergétiquement efficace a enfin pu trouver sa place en architecture et perdre son caractère «marginal»; on a été en mesure de dépasser les préjugés formés à l'époque du développement et de l'expérimentation selon lesquels cette technique devait se limiter à des bâtiments isolés ou à des petits lotissements à faible densité.

Plusieurs lotissements en bande à forte densité de construction ont vu le jour quelques années plus tard. Dans ce domaine, la rangée présente un meilleur rapport surface extérieure/volume que la maison isolée. Les lotissements de Halen et de Thalmatt de l'agence Atelier5 sont les premiers exemples des années 1960. Ils témoignent de façon magistrale de l'effort pour retrouver les avantages de la maison isolée dans un ensemble dense accessible au plus grand nombre, et atteignent un haut degré d'efficacité énergétique grâce à leur plan compact et à une orientation idéale.

Les premiers projets de lotissement, tout comme les premières maisons expérimentales, ont pu éviter les contraintes liées à un mauvais ensoleillement local: les terrains situés à la campagne ou en périphérie des villes et ne présentant pas de problème d'ori-



8



9

tation ou d'ombrage ont en règle générale été privilégiés.

Dans le cadre des expositions internationales du bâtiment comme celle de Berlin (IBA) en 1989, l'exposition horticole de Stuttgart en 1993 ou encore l'Exposition universelle de Hanovre en 2000, les innovations en matière de construction écologique étaient à l'ordre du jour. Le logement dense des centres-villes, devrait être le lieu de développement d'une construction consciente des enjeux énergétiques. Bien que de nombreux bâtiments aient surtout été conçus à partir de considérations esthétiques, on a néanmoins pu appliquer le concept d'urbanisme durable au logement en centre-ville.

8 Lotissement Halen près de Berne, Atelier5, 1955  
9 Cf. 8: vue aérienne



10



11

L'urbanisme solaire est un champ expérimental plutôt onéreux pour des projets de démonstration et de recherche. Les rares exemples de ce type montrent à la fois l'ampleur de l'investissement nécessaire et la multitude des déceptions. On a accordé trop d'attention à la conception des bâtiments aux dépens des principes fondamentaux de l'urbanisme. La définition des dispositions réglementaires – depuis la gestion communale de l'énergie en passant par les concepts locaux et régionaux de distribution de l'énergie jusqu'à l'établissement d'un plan déterminant les conditions d'une architecture solaire – constitue un préalable au développement réussi d'une architecture urbaine énergétiquement efficace.

#### Conditions climatiques

Un urbanisme durable ne peut réussir qu'en passant par un aménagement tenant compte des conditions climatiques locales. Le sens étymologique du mot «climat» est «pente», «inclinaison» en référence à l'angle des rayons du soleil. Cette «inclinaison» (en fait appelée «déclinaison») varie aussi bien au cours de la journée qu'au long de l'année et conditionne l'ensemble des paramètres climatiques. Pour les architectes, parmi les facteurs liés aux intempéries, seuls comptent ceux qui influencent de façon directe les hommes ou qui déterminent l'usage d'un bâtiment: principalement la température, le vent et le rayonnement solaire.

Les déperditions thermiques d'un bâtiment sont en grande partie liées aux températures extérieures. Les déperditions thermiques par transmission dépendent de trois facteurs comparables: les surfaces émissives de chaleur, leurs propriétés isolantes et la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur. Alors que les deux premiers facteurs font intervenir la conception (compacité) et la construction (qualité de l'isolation), le troisième facteur relève des propriétés non modifiables du climat local. Plus les températures extérieures sont extrêmes, plus l'optimisation des deux aspects précédents sera déterminante.



12

10 Lotissement de maisons passives Lummerlund à Kronberg, Hanovre, Rasch & Partner, 1998

11 Bâtiment écologique dans le cadre de l'Exposition universelle de Hanovre, 2000

12 Bâtiment de logement à Stuttgart, Tegnestuen Vandkunsten, 1993. Fait partie de l'exposition «Werk-Stadt-Wohnen» (travail-ville-habitat) dans le cadre de l'Exposition horticole internationale IGA de Stuttgart, 1993.

13 Cf. 12: façade sud



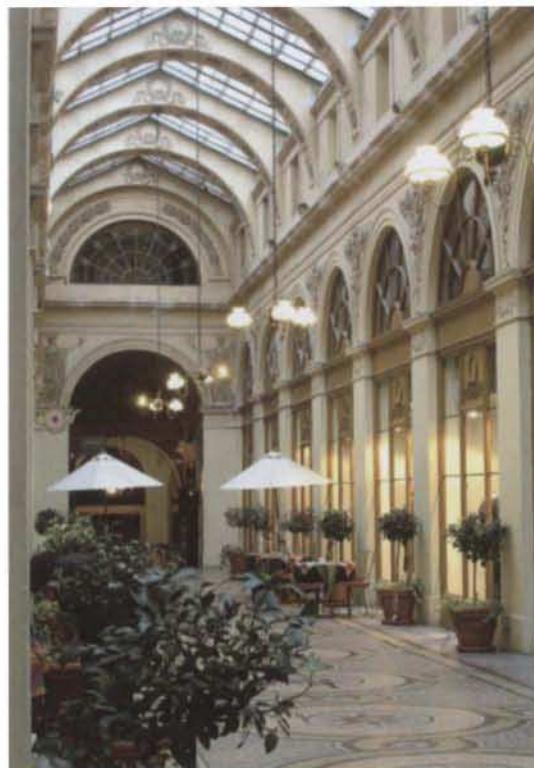
Les serres, le principe de la maison dans la maison, de l'atrium et des cours fermées reposent sur la création d'un espace tampon entre l'espace intérieur et l'extérieur. Les cours avec verrières, les passages publics couverts du 19<sup>e</sup> siècle offrent un modèle intéressant pour la conception des bâtiments de bureaux et d'ateliers ou pour les grands atriums distribuant plusieurs niveaux construits ces dernières années.

Réchauffés par le rayonnement solaire, ces espaces ont une température moyenne supérieure à celle de l'air extérieur: ils contribuent ainsi à économiser de l'énergie et assurent un confort propice au déroulement des diverses activités. Bien que le concept ouvre une magnifique perspective architecturale, les dépenses engagées dans la plupart de ces réalisations sont souvent sans commune mesure avec les économies d'énergie obtenues. Par ailleurs, les surchauffes estivales ne sont atténues qu'en utilisant de l'énergie.

Les variations quotidiennes de température de l'air extérieur peuvent aussi être importantes en été. Par une ventilation adaptée la nuit, la masse du bâtiment peut être rafraîchie afin de pouvoir atténuer les pics de température de la journée et garder l'intérieur plus frais.

Le vent agit de deux manières sur le bilan énergétique d'un bâtiment: d'abord par l'augmentation des déperditions par transmission – dues au refroidissement de l'enveloppe du bâtiment par convection –, et ensuite par l'augmentation des déperditions par la ventilation – à travers les parties peu étanches de l'enveloppe. Une construction énergétiquement efficace suppose donc une enveloppe étanche.

L'influence du vent est essentielle pour les espaces à l'air libre. Les conditions locales, notamment la topographie et la végétation, l'orientation d'un bâtiment et sa volumétrie ou bien la disposition de plusieurs immeubles entre eux, déterminent les effets du vent dans les espaces intercalaires et donc le degré de confort. Des ensembles denses ainsi que des rues et espaces extérieurs en chicane empêchent les courants d'air. Des bâtiments annexes (entrepôts, hangars, garages, etc.), des talus ainsi que des plantations (arbres, haies, etc.) peuvent aussi protéger les bâtiments des vents.



14



15

16



14 Galerie Vivienne à Paris

15 Cité Nachtgärtle à Fußach, Vorarlberg, W.Juen, 1993, hall d'entrée vitré

16 Bâtiment administratif de DVG à Hanovre, Hascher + Jehle et Heinle, Wischer und Partner, 1999. La couverture en verre protège les bureaux, les espaces libres et de distribution.



17

17 Exposition universelle de Séville en 1992. Ombrage des allées par les plantes et rafraîchissement par évaporation de l'eau

18 Cf. 17 : place ombragée

19 Rue ombragée par des vélums à Séville



18



19

Le rayonnement solaire est le principal facteur climatique pour l'architecture énergétiquement efficace: pour simplifier, on appelle « architecture solaire » l'art de construire en harmonie avec la nature. Il est important de comprendre la géométrie solaire, aussi bien pour les zones froides, où l'utilisation des rayons du soleil peut représenter un intéressant apport calorique, que pour les zones chaudes, où ceux-ci doivent être évités, surtout en été. Les méthodes de détermination de l'éclairement solaire en site urbain sont détaillées page 40.

Le rayonnement global, lié à la présence ou non de nuages, comporte une part directe et une autre diffuse. La part diffuse est multidirectionnelle, ce qui explique que les façades nord bénéficient aussi d'une partie de l'ensoleillement. Celui-ci y est néanmoins bien inférieur à celui des autres orientations. Les systèmes d'utilisation passive de l'énergie solaire exploitent surtout le rayonnement direct qui détermine l'orientation et la distance des bâtiments entre eux, ainsi que l'ensoleillement des rues et des espaces libres.

Sous les climats chauds, la protection vis-à-vis du soleil est la principale mesure d'urbanisme. L'étroitesse typique des rues dans la région méditerranéenne permet, grâce aux ombres portées, d'éviter le réchauffement de la masse des maisons. Les ruelles et les cours sont de ce fait protégées du rayonnement direct du soleil. Outre les facteurs climatiques déjà évoqués, la situation, l'orientation, la topographie et la végétation déterminent fortement les conditions locales.

Les caractéristiques du lieu ont des conséquences essentielles sur le choix des mesures écologiques. En ville, les terrains sont plus petits et plus fortement soumis à l'environnement qu'en pleine campagne. La topographie détermine l'orientation d'un bâtiment par rapport au soleil (orientation de la pente de la toiture) ou l'influence du vent (situation exposée ou abritée). Par exemple, construire au sommet optimise certes l'utilisation de l'énergie solaire mais entraîne d'importantes déperditions thermiques en raison de l'exposition au vent. Une orientation au sud permet de réduire la distance entre les rangées de bâtiments, mais aussi d'augmenter la densité de construction.

Les plantations autour d'un bâtiment permettent d'améliorer les conditions climatiques (rayonnement solaire, effets dus au vent) qui s'exercent sur l'enveloppe et les espaces extérieurs. Les arbres à feuilles caduques offrent une protection solaire l'été et laissent passer le rayonnement l'hiver. De plus, les alignements d'arbres constituent des barrières naturelles contre le vent ou des corridors qui dirigent le vent à l'endroit désiré. En raison de l'évaporation qui permet la dissipation de la chaleur, la plantation d'arbres entraîne en été un rafraîchissement de l'air, ce qui peut renforcer une ventilation naturelle.

### **Types et proportions de bâtiments**

Alors qu'il existe pour les maisons passives des paramètres constructifs et conceptuels définis permettant des économies ou des gains énergétiques, ils ne sont que fragmentaires en matière d'urbanisme. Des exigences concrètes font en effet défaut pour l'optimisation du bilan énergétique des structures urbaines. À cet égard, les règles d'urbanisme (distances, orientation, desserte, forme des bâtiments, etc.) servent de base à une conception du bâtiment optimisée sur le plan énergétique et donc aux exigences constructives appliquées à une architecture énergétiquement efficace.

Les déperditions par transmission d'un bâtiment sont proportionnelles à la qualité de son isolation, mais aussi aux surfaces extérieures susceptibles de perdre de la chaleur. Du point de vue urbanisme, deux aspects sont à considérer:

- le type de bâtiment,
- les proportions du bâtiment.

Le type de bâtiment définit le degré de compacité possible. À forme égale, un petit volume a une surface extérieure supérieure à celle d'un grand volume. C'est pourquoi les maisons individuelles isolées, même compactes, sont, sur le plan énergétique, moins performantes que les maisons en bande ou que les petits collectifs.

Le cube représente pour une maison isolée la forme la plus compacte; pour les maisons en bande, ce sera un prisme allongé. Dans ce cas, le rapport entre la profondeur et la largeur de chaque logement doit être considéré sous



20



21



22

20 Protection solaire assurée par des nattes de paille tressées, rafraîchissantes si on les humidifie

21 Lotissement Hanweiler à Stuttgart, Knut Lohrer, 1982. Les espaces vitrés ponctuent la rangée de maisons sur le coteau.

22 Reconstruction de l'ancienne gare centrale d'Atocha à Madrid, Rafael Moneo, 1992. De petits sprinklers placés entre les plantes humidifient et rafraîchissent l'air.



23



24



25

l'angle de la compacité, de l'éclairement et des apports solaires.

Le contexte dans lequel se trouve le bâtiment détermine son potentiel solaire et donc ses éventuels gains énergétiques. Deux facteurs urbains sont, de ce point de vue, essentiels:

- l'orientation du bâtiment,
- la distance entre les bâtiments (la densité).

En relation avec ces deux aspects, d'autres facteurs sont déterminants pour une architecture énergétiquement efficace:

- la desserte (externe et interne),
- le stationnement,
- les espaces libres.

#### Orientation du bâtiment

Dans les lotissements peu denses, comme à la campagne ou en périphérie des villes, des exigences comme l'orientation ou les distances entre les bâtiments sont plus faciles à satisfaire. En revanche, en ville, les enjeux énergétiques prennent une autre dimension. Des rapports complexes comme la desserte, la circulation, le bruit, les liaisons urbaines, la densité, les constructions mitoyennes ou l'approvisionnement en énergie doivent être pris en compte avec une vision globale et non pas optimisés un par un.

Cela ne signifie pas pour autant que l'énergie solaire ne peut pas être exploitée dans le cadre complexe de la ville. D'un côté, l'orientation solaire des bâtiments n'est sans aucun doute pas toujours possible et il faut, dans la plupart des cas, compter sur un ensoleillement limité en hiver. De l'autre, les villes se caractérisent par de plus fortes densités et des bâtiments plus compacts, ce qui permet dans un premier temps de réduire les déperditions thermiques.

Les mesures envisagées pour une utilisation passive de l'énergie solaire doivent s'appuyer sur la situation locale pour leur développement et leur dimensionnement. Ces mesures constructives passives peuvent être complétées par des systèmes actifs efficaces (eau chaude sanitaire, chauffage complémentaire) qui sont plus performants quand ils sont prévus non pas pour un bâtiment seul, mais pour un ensemble. On les place en général en toiture, partie non



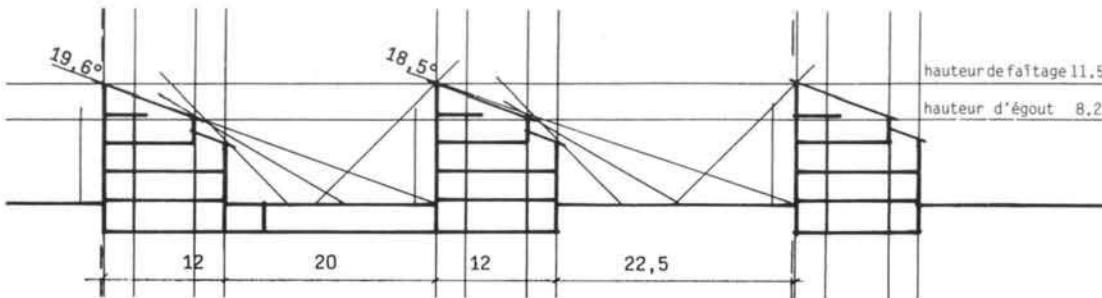
26

ombragée même dans les cas de forte densité. L'orientation optimale de ces équipements solaires – indépendante de celle du bâtiment – est dès lors plus facile. Le choix et le dimensionnement du système adapté sont liés à une approche globale de l'approvisionnement. Les concepts énergétiques régionaux et les structures d'approvisionnement doivent également être pris en compte.

#### Densité de construction

La densité possible dépend surtout des distances à respecter entre les bâtiments. Dans une barre orientée au sud, tous les logements peuvent bénéficier des mêmes conditions d'ensoleillement à condition que la distance entre les barres soit suffisante pour l'hiver. Pour une latitude de 48° (Munich, Fribourg), cette distance correspond au triple de la hauteur du bâtiment. Dans ce cas, les immeubles d'habitation peuvent atteindre un rapport maximal hauteur/largeur de 1.

Si l'on veut augmenter la densité, ces écarts ne peuvent plus être respectés. La forme du toit joue aussi un rôle. Même si un ensoleillement complet de la façade est souhaitable, la réduction des écarts permettra malgré tout aux duplex, par exemple, d'être au moins en partie ensoleillés durant les mois d'hiver. Grâce à ce genre de mesures constructives, le rapport hauteur/largeur peut atteindre 1,3 pour des barres orientées au sud. Le rapport habituel  $H=L$ , classique pour les immeubles d'habitation, est alors difficile à conserver. On ne peut atteindre une densité supérieure qu'en variant l'orientation des différents bâtiments (autour d'une cour ou en îlot). Les ombres portées et les diverses qualités spatiales devront alors être analysées au cas par cas.



27

Pour les fonctions autres que le logement, les apports solaires jouent souvent un rôle secondaire. Le fait de résserver à un usage professionnel la partie basse, non ensoleillée, du bâtiment permet de réduire les distances.

Les lotissements situés en périphérie des villes devraient aussi être plus denses et reliés à des centres bien desservis. Les économies faites dans le domaine du transport et des infrastructures sont souvent alors bien supérieures aux économies d'énergie réalisées par les bâtiments eux-mêmes.

### Desserte

En plus de la densité, le système de desserte et l'utilisation différenciée des espaces extérieurs – privés ou collectifs – sont des aspects importants pour la détermination des distances entre bâtiments. L'urbanisme du Mouvement moderne a vu s'affronter les partisans d'une orientation ouest-est et ceux prônant une orientation nord-sud.

En 1918, Muthesius écrivait déjà à ce sujet : « [...] De l'orientation de la rue dépend dans une certaine mesure la qualité des habitations qui la bordent et avant tout l'ensoleillement et la protection des logements par rapport au vent. Une rue allant d'est en ouest a un côté sans soleil et l'autre très ensoleillé. On ne pourra dans ce cas prévoir du côté sans soleil que des locaux pouvant se passer d'ensoleillement comme les couloirs, les cages d'escalier, les cuisines, les toilettes, etc., tandis que le côté ensoleillé sera occupé par les salles de séjour, peu importe qu'il s'agisse de façades avant ou arrière. La maison de petites dimensions ne peut répondre à ces exigences comme le pourrait sans difficulté un immeuble plus grand. Les séjours donnent aussi bien sur les façades avant que sur l'arrière. Dans le cas de maisons comprenant une cuisine-salle à manger, celle-ci devrait être aussi ensoleillée et, si possible, davantage que les autres pièces. À l'étage des chambres à coucher, on ne peut envisager de faire une différence entre les façades avant et arrière. Il s'ensuit que, pour les petits lotissements, les rues allant d'est en ouest ne sont pas adaptées. Celles allant du nord au sud sont préférables car elles laissent aux immeubles d'un côté le



28



29

30



23 Immeuble d'habitation à Munich, Raupach und Schurk, 1996. Les balcons vitrés utilisent l'énergie solaire passive et isolent du bruit.

24 Immeuble d'habitation à Madrid, Mario Muelas, 2003. Utilisation active de l'énergie solaire en centre-ville: capteurs solaires sur le toit pour l'eau chaude sanitaire

25 Cf. 24 : collecteurs d'air sur la façade sous forme de cheminées solaires pour la ventilation estivale

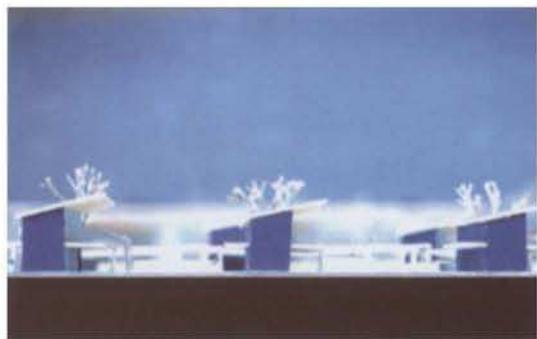
26 Quartier résidentiel à Kriens, Suisse, Lischer, 2001. Le terrain en pente et les décalages permettent de réduire les distances entre les bâtiments (voir aussi p. 44).

27 Lotissement Berteldorfer Höhe à Coburg, H2R, Hüther, Hebsperger-Hüther, Röttig, 1992; ensemble de barres orientées au sud avec une optimisation des distances pour l'ensoleillement des bâtiments et des espaces libres

28 Cf. 27 : plan de masse

29 Cité Ried à Niederwangen près de Berne, Atelier 5, 1983-1990. îlot dense

30 Cf. 29 : orientations différentes des logements selon leur situation



31



33

31 Lotissement solaire à Münster-Coerde, Pollok + Gonzalo, 2000. Desserte des barres d'un seul côté

32 Cf. 31 : les barres de petite longueur sont desservies par une cour centrale commune.

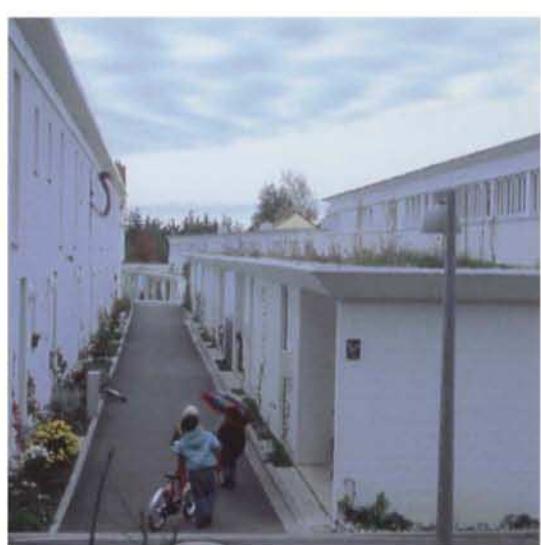
33 Lotissement Röthenbach a. d. Pegnitz, Metron Architektur, 1990. Desserte des bâtiments depuis un espace central de jeu comprenant une maison commune

34 Cf. 33 : une rangée de hangars sépare voie d'accès et jardins privés.

(1) Hermann Muthesius : « Indications pour concevoir un lotissement », in *Kleinhaus und Kleinsiedlung*, Munich 1918



32



34

soleil de l'est et aux autres celui de l'ouest, donc pour chaque moitié de rue le même ensoleillement. » (1)

De telles prises de position ont servi de base aux célèbres barres orientées est-ouest des années 1950 et 1960. Pour celles orientées au sud, la façade exposée au soleil fait face à celle plus refermée exposée au nord. Un agencement symétrique des barres contrarierait l'orientation souhaitée au sud pour les séjours.

Pour une meilleure utilisation de la façade sud, il est préférable de prévoir l'accès par le nord. Cela suppose toutefois une augmentation peu économique des dessertes par ce seul côté. On constate aussi des espaces centraux indifférenciés, ce qui nuit à la distinction entre voies d'accès et espaces libres. Du point de vue convivialité, cette solution est aussi peu satisfaisante car ce doublement des voies d'accès réduit les occasions de rencontres et les relations sociales.

La desserte d'un seul côté exige un grand soin dans le traitement apporté aux espaces centraux et ne convient qu'aux petites bandes distribuées par un espace commun – une allée menant aux logements.

Une seule desserte pour deux barres est préférable sur le plan économique, surtout si elle sert aussi aux voitures. Pour des barres exposées au sud, en raison de la préférence de ce côté pour des pièces principales, on doit, pour la conception du bâtiment, tenir compte des conditions de desserte, différentes pour chaque barre. De plus, le traitement des espaces extérieurs demande dans ce cas un soin particulier, comme nous le verrons plus loin. La desserte unique est typique des barres est-ouest pour lesquelles une différenciation bien étudiée entre les parties est et ouest serait importante, mais hélas souvent négligée.

Pour la distribution interne d'un bâtiment, plusieurs conditions sont à remplir en fonction de l'orientation de la façade desservie.



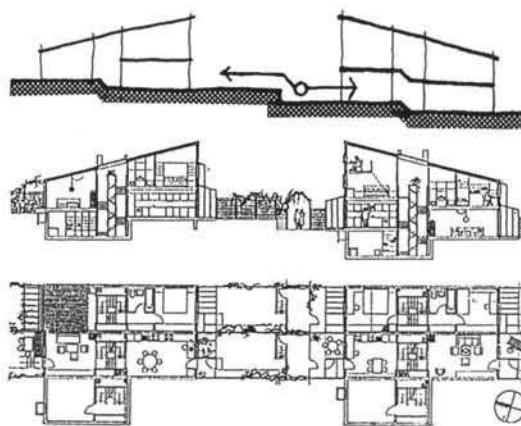
35

Pour un bâtiment desservi par le nord, plusieurs possibilités se présentent:

- distribution directe (maison en bande, accès direct par un escalier extérieur).
- coursive.
- escalier extérieur.

Pour un bâtiment desservi par le sud, certaines contraintes sont à considérer:

- desserte directe: par le côté ensoleillé où un espace extérieur privatif serait aussi souhaitable. Des mesures appropriées éviteront tout conflit entre zones publique et privée.
- coursive: côté sud, elle gêne l'ensoleillement des pièces situées devant ou derrière: de plus, il faudra éviter toute vue directe sur ces pièces privées. Si la coursive est au nord, l'ensoleillement n'est certes pas gêné, mais le côté desservi se trouve changé. On traverse le bâtiment pour rejoindre la façade arrière, ce qui supprime la distinction nette entre côté desservi et côté privé. Là aussi, les regards dans la sphère privée sont à éviter.
- escalier: les problèmes liés à l'ensoleillement sont moins importants. Pour que les logements du rez-de-chaussée puissent disposer d'un espace extérieur privatif au sud, la distance entre les escaliers ne doit être pas trop courte; s'ils sont trop éloignés, il n'y aura que de grands appartements. Une alternance entre des escaliers extérieurs et de petites coursives est alors une solution avantageuse.



36



37

38



35 Lotissement à Passau-Neustift, H. Schröder et S. Widmann, 1989. Desserte des deux côtés

36 Cf. 35: les espaces devant les immeubles sont différents selon que la rangée est desservie par le nord ou par le sud.

37 Lotissement solaire à Osuna, Espagne, SAMA arq., 1990. Selon leur orientation, les façades sur les étroites cours présentent de grandes différences.

38 Lotissement Siveliuspark à Rødvre, Danemark, Fællestegnestuen Aps. Desserte des deux côtés par une allée

39 Déserte, parking et espaces entre deux bâtiments

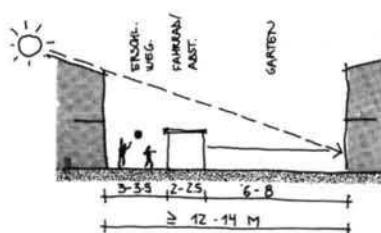
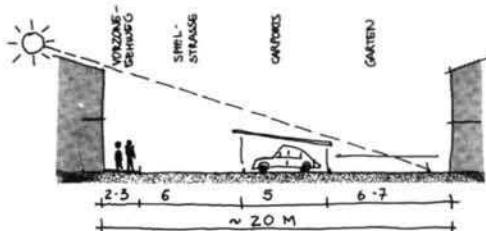
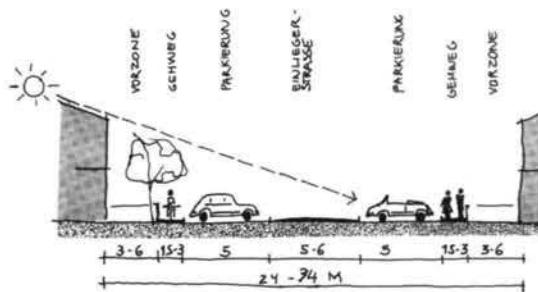
40 Lotissement à Affoltern am Albis, Metron Architektur, 1998. Le terrain en pente a permis de prévoir le stationnement sous l'espace vert: les écarts entre les immeubles sont ainsi réduits et les espaces publics séparés des jardins privés (voir aussi p. 50).

## Stationnement

Un urbanisme durable doit viser une forte densité de construction, mais en évitant une inutile imperméabilisation des sols. Les voies d'accès et les parkings peuvent contribuer plus que les bâtiments eux-mêmes à cette imperméabilisation. Pour éviter les voies d'accès inutiles (comme par exemple les dessertes sur plusieurs côtés), il faut les prévoir courtes et simples. Le type de desserte est directement lié à la question du stationnement. Si l'on veut éviter la construction coûteuse d'un garage souterrain ou d'un grand parking, les règles d'urbanisme à cet égard constituent la principale contrainte. Pour des bâtiments de faible hauteur, les distances entre bandes sont plutôt réduites. Elles suffisent juste pour desservir les logements par une voie privée (réservée aux résidants) et pour un jardin assez grand. C'est pourquoi, dans le cas de petites rangées, il est préférable de concentrer à proximité de la voie de desserte principale le stationnement depuis lequel les habitants pourront rejoindre à pied leur habitation.

Si les voitures occupent une partie de l'espace entre les bâtiments, celui-ci sera plus large, comparable à celui de bâtiments de 3 à 4 étages. Dans ce cas, un aménagement réfléchi du stationnement peut amener à structurer les espaces centraux et à protéger les jardins privatifs. Si le terrain est en pente, on peut le modeler afin d'y intégrer le parking.

Si l'on souhaite rendre la vie urbaine plus attractive, il importe de reconquérir les espaces extérieurs. À cet égard, on peut trouver d'autres solutions, de manière à contribuer à améliorer l'espace public. Les surfaces reconquises doivent servir à divers usages – aires de jeux pour enfants, abris, espaces de loisirs ou ateliers. Ainsi sera renforcée la flexibilité du lotissement et, grâce à cette offre en espaces alternatifs supplémentaires, la taille des bâtiments pourra être réduite.



39

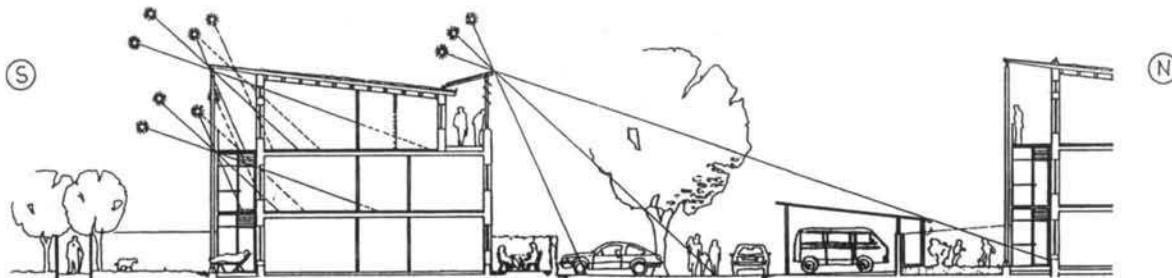


40

## Environnement et espaces libres

La détermination des distances entre bâtiments doit toujours se faire parallèlement à la conception et à l'utilisation envisagée pour ces espaces extérieurs. Il faut définir à la fois la desserte mais aussi les espaces libres qui accueillent les activités les plus diverses – ateliers, jardinage, fêtes collectives. Une différenciation entre domaines public et privé est indispensable pour assurer la tranquillité des zones privatives.

La desserte des barres par un seul côté donne lieu à des espaces intermédiaires comprenant des voies d'accès jouxtant des surfaces libres; il faut assurer une séparation nette entre ces deux dernières, surtout en cas de faibles distances entre les barres. Une desserte pour deux barres conduit à la formation de groupes et à l'alter-



41



42



43

nance de voies d'accès et de surfaces libres dans les espaces intermédiaires. Des hauteurs de bâtiments différentes entraînent des écarts variables pour l'ensoleillement et donc une plus grande diversité d'espaces extérieurs : c'est une façon de remédier à la monotonie des alignements de barres typique des ensembles des années 1950 et 1960. On peut aussi varier les types de bâtiments : maisons en bande, immeubles. Du fait de l'orientation sud privilégiée pour les séjours, on obtient ainsi pour chaque barre différentes solutions de desserte qui doivent être étudiées lors de la conception.

Cela concerne en particulier l'utilisation des espaces extérieurs privatifs et la protection des sphères privées des pièces principales situées dans des barres desservies par la façade sud. Si cette protection n'est pas assurée, les fenêtres

seront masquées pour préserver l'intimité (par des rideaux par exemple) et les apports thermiques espérés du rayonnement solaire seront alors perdus.

« Même quand le judas optique est devenu depuis longtemps une grande fenêtre, il (l'Homme) ressent le besoin de garder un œil sur l'extérieur depuis la pièce où il se tient à l'écart. Il voit alors par la fenêtre le monde ouvert à lui dans toute sa clarté, mais le monde ne le voit pas, lui qui est caché dans l'obscurité de sa chambre. Par les rideaux et les voilages, les hommes ont tenté de renforcer l'intimité que permet la fenêtre alors que le logement actuel se caractérise par l'ouverture sur le monde extérieur de la maison par de grandes baies vitrées. » (2)

Les décisions en matière d'urbanisme influent aussi sur le comportement des habitants face à l'utilisation passive de l'énergie solaire.

C'est surtout le cas pour les fortes densités de construction : plus les bâtiments sont proches les uns des autres, plus la protection visuelle de l'intimité devra être assurée.

Le soleil ne devrait pas être considéré du seul point de vue énergétique ; l'architecture naît de la définition d'espaces dans l'espace, autrement dit d'un dialogue entre l'intérieur et l'extérieur, relation qui présente des degrés, des éléments de transition que l'on qualifie de seuils.

« L'extérieur et l'intérieur sont deux intérieurités ; elles peuvent toujours basculer et échanger leur hostilité. Lorsqu'une surface sépare tel intérieur d'un tel extérieur, cette frontière est toujours ressentie des deux côtés avec douleur. » (3)

Le soleil permet un dialogue intense entre intérieur et extérieur grâce auquel cette relation peut être perçue autrement. C'est pourquoi il faut attacher autant d'importance à l'utilisation et à l'ensoleillement des lieux extérieurs qu'à celle des espaces fermés.

Cette conception relève en fin de compte d'un problème d'échelle. Les priorités varient en fonction du contexte du projet, selon qu'il s'agit

d'un nouveau quartier, d'un lotissement isolé, d'une construction en zone périphérique ou d'un centre-ville.

Dans le cas de logements à faible densité, le soleil peut jouer un rôle essentiel. En centre-ville, d'autres facteurs entrent en jeu, la spécificité du site et le coût du foncier, très liés à la densité et à la composition socioprofessionnelle du

41 Optimisation des surfaces entre les barres et différenciation des espaces public et privé ; travail d'étudiant à l'Université Technique de Munich, 1991

42 Lotissement de maisons passives Am Leimbacher Berg à Leverkusen-Schlebusch, tr.architekten, Rössing und Tilicke, 2003. Barres sur un terrain en pente desservi par le nord. Garages donnant sur la principale voie d'accès.

43 Lotissement à Altötting, Demmel + Mühlbauer, 1994. Stationnement prévu sous les locaux prévus pour des activités multiples.

(2) Otto F. Bollnow : *Mensch und Raum*, Stuttgart 1989

(3) Gaston Bachelard : *La Poétique de l'espace*, PUF, Paris 1957



45

44 Plaza Real à Bilbao, Espagne

45 Champs-Élysées, Paris

46 Lotissement Tinggården 2 à Herfølge, Danemark, Tegnestuen Vandkunsten, 1978. Place devant la maison commune.

quartier, à la structure du bâti et à son implantation. On peut certes améliorer l'ensoleillement, mais les bénéfices en seront bien souvent faibles. Malgré tout, la densification urbaine est le meilleur moyen d'économiser l'énergie car elle permet, d'une manière générale, de meilleurs résultats que des lotissements en périphérie optimisés sur le plan solaire.

Un environnement ensoleillé offre un cadre adapté au déroulement des activités individuelles mais aussi collectives. C'est là que s'apprécie la vitalité d'une ville; la qualité de vie de l'environnement est directement liée à celle de l'habitat car il en est le prolongement sur l'extérieur de celui-ci. Lorsqu'on a moins envie de sortir de chez soi pour aller «dans la nature», la consommation d'énergie se trouve de fait réduite. Vivre en ville devrait donc permettre de retrouver le charme d'autrefois, l'espace public doit offrir une dimension sociale riche et l'espace urbain être compris comme un lieu de vie collective.

### Aides à la conception

L'orientation et la disposition des bâtiments les uns par rapport aux autres constituent l'aspect essentiel en matière d'utilisation passive de l'énergie solaire. Leur implantation doit être étudiée en fonction de la position du soleil et de l'intensité du rayonnement solaire au cours de l'année et de la journée. Des conceptions urbaines distinctes peuvent présenter des différences majeures en matière d'ensoleillement des bâtiments, différences qui ne sont pas manifestes au premier abord, si ce n'est pour des experts. De même, les ombres portées des bâtiments ou de la végétation environnante doivent être prises en compte. Les zones d'influence sont en tout cas plus faciles à prévoir entre bâtiments qu'entre des formes irrégulières – arbres, collines. On doit aussi penser à l'ombre de certains éléments bâtis (saillies, angles, annexes). En matière d'utilisation passive de l'énergie solaire en centre-ville et pour des densités croissantes, il n'existe aucune règle. Une bonne connaissance de la géométrie solaire et le travail sur des maquettes ou des simulations informatiques en trois dimensions sont indispensables pour étudier les situations complexes.

44



46

Le diagramme solaire (calculé pour une latitude donnée), ou gnomon, permet d'étudier de façon simplifiée les conditions d'ensoleillement aux différents moments de la journée et de l'année. On peut ainsi effectuer des contrôles pour évaluer différentes possibilités. Le travail avec une maquette correspond à la méthode classique de l'architecte.

Pour affiner les résultats en vue des phases suivantes, un examen à l'aide de l'ordinateur s'avère indispensable. La plupart des programmes de CAO proposent aussi le calcul d'une projection de l'ombre à un moment donné. Cela permet une première comparaison entre diverses possibilités, sachant que les résultats sont plutôt limités: ils ne reflètent qu'une situation donnée à un moment donné et non l'évolution au cours de la journée ou de l'année. Pour aller au-delà, un long travail sur l'ordinateur s'avérera nécessaire et, là encore, les résultats seraient loin de livrer tous les cas de figure possibles.

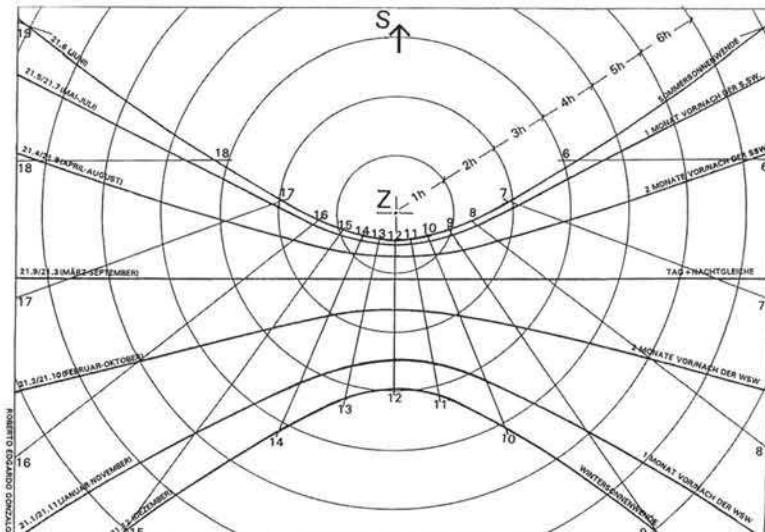
Puisque des données précises ne sont pas disponibles pour la conception des bâtiments, établir un bilan énergétique sur la base d'un plan d'urbanisme devient une opération souvent impossible, du moins approximative. Seule la comparaison de plusieurs propositions pour une situation donnée – comme c'est le cas des concours – permet de définir des critères d'évaluation; plusieurs programmes ont été développés à cet effet qui évaluent la part



47



48



49

d'ombrage des façades, la plupart du temps en pourcentage.

Des données absolues ne peuvent être établies que lorsque la conception est assez avancée et pour des bâtiments bien définis. La faculté ou la possibilité d'apporter à ce stade-là des changements significatifs est cependant mince.

Les différentes méthodes ne s'excluent pas: chacune sera plus adaptée à une phase particulière. Le processus de conception peut être corrigé grâce à ces diverses possibilités de contrôle et les principes seront ainsi déterminés pour les phases suivantes.

### Approvisionnement en énergie

Les lotissements urbains sont de plus en plus souvent équipés de dispositifs alternatifs en matière d'approvisionnement en énergie comme des centrales de cogénération, des installations de chauffage central complétées par l'énergie solaire ou des dispositifs de stockage de longue durée de l'énergie solaire. Un même principe s'applique à la conception urbanistique et aux bâtiments: ce qui a été omis lors de la conception ne peut être rattrapé qu'à grands frais par la technique.

La transformation de l'énergie primaire en énergie finale occasionne des pertes très variables selon la source d'énergie. Les énergies renou-

velables (solaire, biogaz, chaleur disponible dans l'environnement) permettent de couvrir une partie importante des besoins même en tenant compte de leurs propres limites. Le choix du système d'approvisionnement en énergie doit se faire en prévoyant un apport minimal en énergie pour une utilisation maximale du potentiel énergétique.

Pour leurs besoins d'éclairage, d'énergie et de refroidissement, les bâtiments d'activités utilisent surtout de l'électricité, et en grandes quantités, alors que ce vecteur d'énergie présente un très mauvais ratio énergie primaire/énergie finale. De plus, leur consommation se concentre sur certaines heures de la journée, ce qui entraîne des surcharges ponctuelles du réseau public d'approvisionnement. Avec des centrales de chauffage, de grandes pompes à chaleur ou des cogénérateurs, des zones d'activités entières peuvent être alimentées et les pertes liées à la production et aux transports minimisées. Les cogénérateurs produisent de l'énergie électrique et utilisent la chaleur perdue pour le chauffage, parfois au profit d'habitations voisines. Les installations décentralisées permettent en outre un couplage plus économique avec les systèmes d'utilisation des énergies renouvelables (vent, soleil) et l'utilisation de sources de chaleur situées dans un environnement proche – eaux souterraines, air, chaleur dégagée par les usines.

47 Étude d'ensoleillement sur une maquette avec un diagramme solaire

48 Cf. 47 : étude des ombres

49 Diagramme solaire (cadran solaire pour une latitude de 48°) permettant une simulation d'ombres

50 Forages en profondeur pour l'exploitation géothermique à Pullach près de Munich

51 Éoliennes dans le sud de l'Espagne

52 Ensemble de logements à Salzbourg Gneis Moos, Georg Reinberg, 2000. Installation solaire comprenant 410 m<sup>2</sup> de panneaux et un réservoir de 100 m<sup>3</sup>



51



52

Parmi les possibles utilisations des ressources locales liées aux énergies renouvelables se trouve aussi le chauffage solaire avec stockage saisonnier. De grandes installations solaires permettent des rendements supérieurs et des investissements moindres en comparaison avec les petites installations. Ce type d'approvisionnement en chaleur est privilégié dans le cas de nouveaux lotissements et cités. Pour des ensembles existants ou en cas de redensification, il est possible d'utiliser la chaleur terrestre ; les installations géothermiques peuvent, selon les conditions géologiques, assurer le chauffage de quartiers entiers avec les techniques de proximité les plus modernes. Les forages habituels d'une profondeur de 3000 à 4000 mètres nécessitent certes un investissement important, mais ils livrent par la suite en permanence, de manière sûre et efficace, une énergie indépendante des variations saisonnières et des intempéries.



50

La création de centrales thermiques virtuelles représente une autre alternative pour l'approvisionnement énergétique urbain. Les installations photovoltaïques alimentent le réseau en courant électrique en échange du reversement d'une quote-part. De la même manière, des cogénérateurs privés ou bien des piles à combustible peuvent être connectés au réseau. Grâce à une gestion adéquate, ils pourraient fonctionner comme des entités locales faciles à gérer. Lorsque le réseau est surchargé, les fournisseurs locaux se mettraient à produire à pleine charge et vendraient leur surplus local. Ils pourraient ainsi venir en appui lors des pics de consommation, ce qui rendrait le fonctionnement des installations d'approvisionnement plus économique. Cette « activité secondaire » des petits fournisseurs d'énergie pourrait en plus attirer les investisseurs privés vers les technologies du futur.

# URBANISME ÉNERGÉTIQUEMENT EFFICACE: EXEMPLES

<b>Construction de maisons passives</b>	<b>Lotissement de maison jumelées à Kriens</b>	Lischer Partner Architekten, Luzern	
<b>Densification urbaine</b>	<b>Maisons en bande à Affoltern</b>	Metron Architektur, Brugg	
<b>Comblement d'une dent creuse</b>	<b>Immeuble d'habitation à Munich</b>	H2R Architekten, Munich	
<b>Réparation urbaine</b>	<b>Immeuble de bureaux et d'habitation à Munich</b>	Martin Pool, Munich	
<b>Comblement d'une dent creuse</b>	<b>Immeuble de bureaux et de logement à Wiesbaden</b>	A-Z Architekten, Wiesbaden	
<b>Construction de logements sociaux énergétiquement efficaces</b>	<b>Immeuble d'habitation à Madrid</b>	Guillermo Yañez, Madrid	
<b>Requalification d'une friche industrielle</b>	<b>Campus universitaire à Nottingham</b>	Hopkins Architects, Londres	

## Construction de maisons passives: lotissement de maisons jumelées à Kriens

Architecte:  
Lischer Partner Architekten, Lucerne



1

Informations sur le projet:  
Livraison: 2001  
SHON: 340 m<sup>2</sup>  
SHOB: 423 m<sup>2</sup>  
Volume hab.: 1 780 m<sup>3</sup> par paire de maisons jumelles

Consommation énergétique:  
23,6 kWh/m<sup>2</sup>/an  
Coefficient U toiture:  
0,10 W/m<sup>2</sup>.K  
Coefficient U mur extérieur:  
0,105 W/m<sup>2</sup>.K  
Coefficient U plancher rez-de-chaussée au-dessus du sous-sol:  
0,10 W/m<sup>2</sup>.K  
Coefficient U fenêtre:  
0,94 W/m<sup>2</sup>.K

Kriens est une commune voisine de la ville de Lucerne; elle présente une structure de lotissement hétérogène et un caractère rural. En bordure de l'agglomération et tout près du centre, neuf maisons jumelées forment un ensemble indépendant et néanmoins intégré. Disposées perpendiculairement à la pente et orientées au sud, elles bénéficient, grâce à leur situation en hauteur et à leur décalage, d'une vue dégagée sur Kriens et sur les Alpes de la Suisse centrale. Une voie de desserte propre permet d'accéder au quartier dont les espaces extérieurs sont aménagés avec soin; des ruelles alternent avec des placettes et des espaces verts à l'ombre de châtaigniers. Le maître d'ouvrage était dès le début très favorable à une architecture durable et énergétiquement efficace. Le projet devait se baser sur ce que l'on appelle la technologie passive.

L'ensemble se remarque par ses formes cubiques simples. Elles garantissent une réduction effective des déperditions thermiques. Un autre aspect du projet réside dans la répartition intelligente des fonctions d'habitation. Tous les séjours sont orientés au sud. Les pièces humides, les escaliers et les locaux techniques sont regroupés au nord de façon compacte. Cette disposition permet une grande flexibilité dans l'agencement des pièces à vivre. Les variations

de niveau permettent une différenciation des espaces extérieurs. Chaque maison dispose d'un espace privatif extérieur clos.

Les points suivants sont essentiels pour la conception globale d'une maison passive énergétiquement efficace: en plus du volume compact et d'un plan bien structuré, il faut prévoir une enveloppe extérieure très bien isolée et hermétique à l'air, ainsi qu'une ventilation contrôlée avec récupérateur de chaleur. Dans le cas présent, l'air extérieur est préchauffé par une nappe de tubes, puis réchauffé par un récupérateur de chaleur – et si nécessaire aussi par électricité – et enfin insufflé dans les pièces.

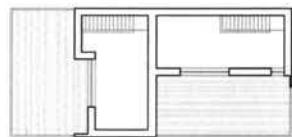
Un système de construction en bois ayant fait ses preuves semblait tout indiqué pour mettre en œuvre ce concept car ce matériau était particulièrement adapté dans ce cas. Le choix du châtaignier pour le bardage en bois de la façade apporte à l'ensemble un certain cachet, d'autant plus que quelques arbres ont été prévus pour les espaces extérieurs.

La situation en pente explique pourquoi l'étage inférieur en béton armé supporte l'étage supérieur en structure bois. Les différences de niveau du terrain ont rendu nécessaires des murs de soutènement en béton.

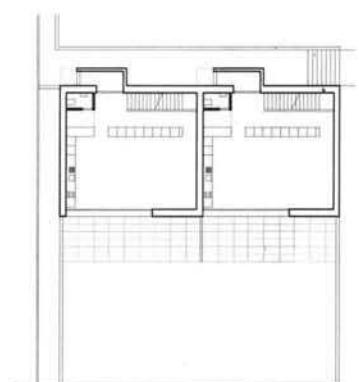
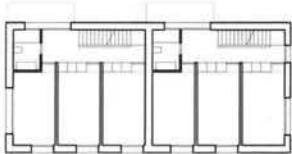
- 1 Vue aérienne du lotissement
- 2 Vue d'une maison jumelée avec ses différents niveaux
- 3 Espace extérieur planté de châtaigniers
- 4 Plans RDJ, RDC, 1<sup>er</sup> et 2<sup>e</sup> étages, sans échelle



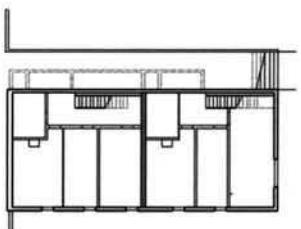
2



3



4





5

5 Coupe, sans échelle (extrait de plans d'exécution): un bâtiment cubique en structure bois repose sur un sous-sol massif en béton armé et en maçonnerie

6 Vue sur le lotissement et le splendide panorama de montagnes au sud

6



La construction en bois met à profit les possibilités offertes par la préfabrication précise en atelier. Les murs extérieurs sont constitués par une structure faite de montants de 380 mm d'épaisseur en lamellé-collé. L'isolation thermique, de même épaisseur, est en laine de roche et a une masse volumique de 32 kg/m<sup>3</sup>. Un film pare-vapeur et pare-air posé avec soin sur la surface et les liaisons doit pouvoir permettre de passer le test Blower-Door. La peau intérieure est revêtue par deux plaques de fibro-plâtre recouvertes d'un mince enduit de plâtre. Le bardage extérieur est en lattes de châtaignier de 21 mm d'épaisseur, assemblées en atelier. C'est la seule manière d'atteindre la précision nécessaire. Devant les terrasses, des panneaux de bois servent de protection contre les regards et renforcent l'unité visuelle de la maison. De l'intérieur, le paysage est visible à travers les interstices des planches, ce qui évite aussi l'impression de garde-corps massif.

La composition des toitures plates comprend d'abord, depuis l'extérieur, une couche végétale de protection. Le film d'étanchéité repose sur un panneau de particules ventilé en partie basse. Un panneau inférieur en fibres de bois tendre cache les poutres et l'isolation thermique. Le pare-vapeur et l'étanchéité à l'air reposent sur les panneaux intérieurs OSB. Un treillis de lattes réserve l'espace nécessaire à l'éclairage. La partie basse est recouverte sur toute la surface par un enduit au plâtre.

Les escaliers ont aussi été préfabriqués en vue d'un montage rapide.

La coupe ci-contre rend compte à l'échelle 1:20 de la mise au point complexe de nombreux détails de raccord et de liaisons. On constate que pour les raccords des différentes façades, rien n'a été laissé au hasard. Le pari consistant à concilier écologie, économie et confort semble réussi.



7



8



9

10



7 Préfabrication en atelier des éléments en bois

8 Photographie du montage: transport des escaliers préfabriqués

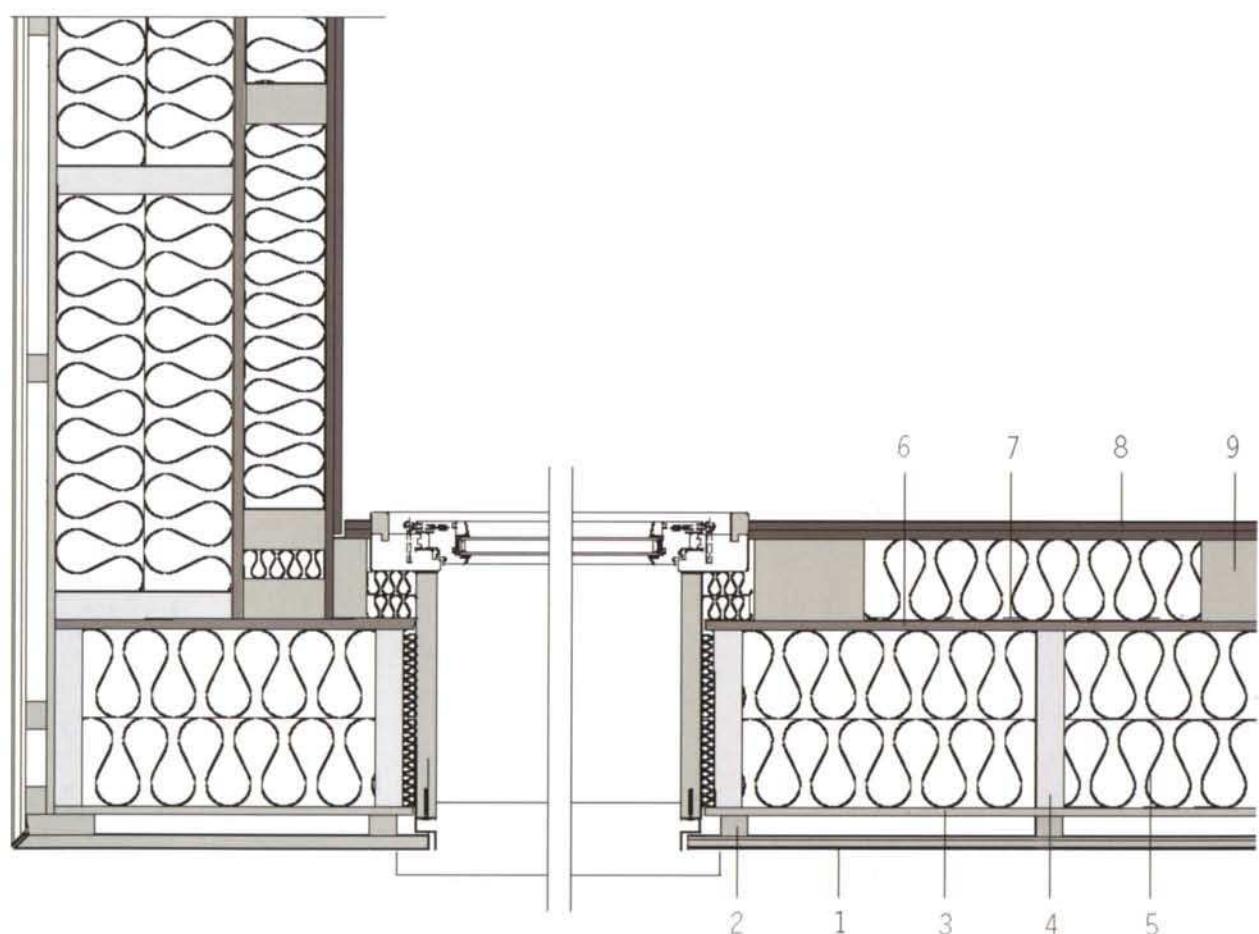
9 Après le montage des plaques, on fixe les bardages en châtaignier.

10 Vue du sous-sol en construction massive

Composition du mur:	
1 Bardage châtaignier	20 mm
2 Lattage douglas	30 mm
3 Pare-pluie	
4 Montant	40/260 mm
5 Isolation en fibres	260 mm
6 Panneau OSB 3	15 mm
7 Pare-vapeur	
8 Plaque fibre-gypse	15 mm
9 Montant	100/120 mm



13



11

Composition du plancher:

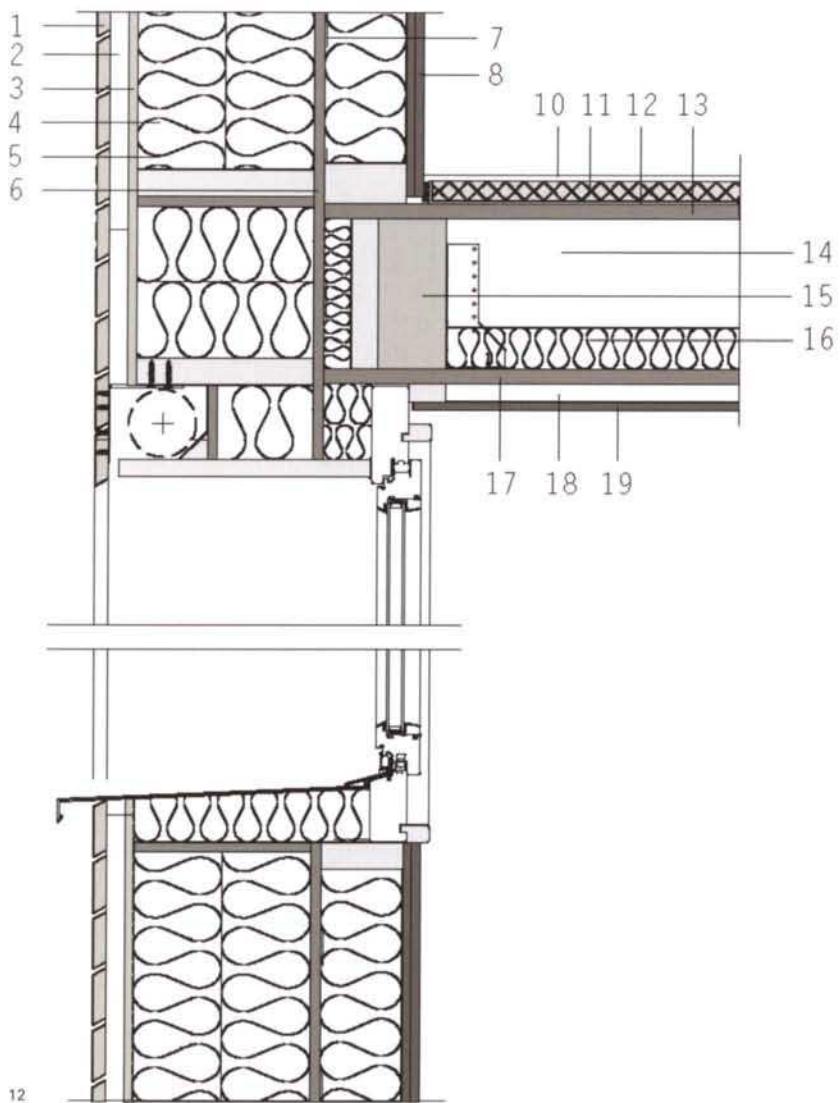
10 Revêtement de sol	
11 Chape anhydre	30 mm
12 Film de séparation	
13 Panneau de particules OSB 3	22 mm
14 Solivage	18/220 mm
15 Poutre de rive	160/220 mm
16 Isolant en vrac	
17 Panneau de particules OSB 3	22 mm
18 Lattage	27 mm
19 Plaque fibre-gypse	



14



15



12

- 11 Coupe horizontale de la fenêtre avec l'angle, sans échelle
- 12 Coupe du plancher
- 13 Coupe de la fenêtre
- 14 Détail avec garde-corps du balcon
- 15 Détail de l'angle du bâtiment

## Densification urbaine: maisons en bande à Affoltern

Architectes:  
Metron Architektur, Brugg



1

### Informations sur le projet:

Livraison: 1998

Surface de référence énergétique:  
6 137 m<sup>2</sup>

Volume du bâtiment selon la norme SIA 116:  
29 019 m<sup>3</sup>

Consommation d'énergie pour le chauffage:  
51 kWh/m<sup>2</sup>/an

Coefficient U toiture:  
0,22 W/m<sup>2</sup>.K

Coefficient U façade:  
0,28 W/m<sup>2</sup>.K

Coefficient U plancher:  
0,38 W/m<sup>2</sup>.K

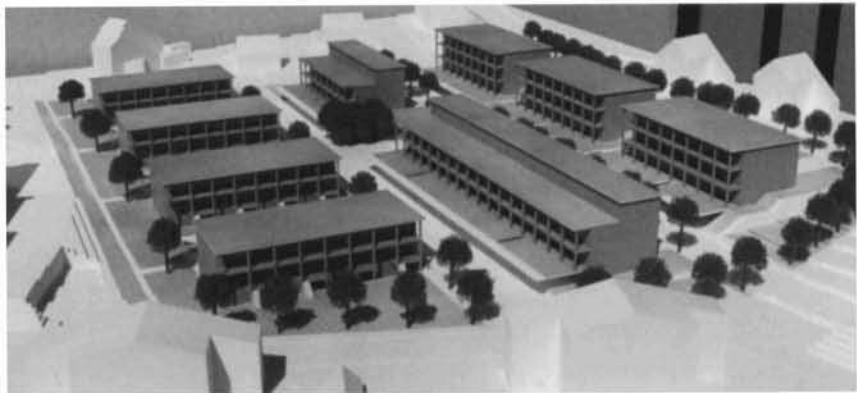
Coefficient U fenêtre (avec huisserie):  
1,40 W/m<sup>2</sup>.K

Une construction respectueuse de l'environnement ne doit pas se contenter aujourd'hui d'être écologique: elle doit aussi remplir des exigences économiques et architecturales. On favorise une bonne architecture qui assure à la fois une qualité de vie et des possibilités individuelles d'appropriation, qui tient compte des techniques de construction optimisées sur les plans écologique et énergétique, et ce, pour un coût raisonnable. Le lotissement Looren, un des plus importants en structure bois de Suisse, est un bon exemple de cette tendance. Il a été réalisé pour un promoteur immobilier privé et comprend 40 logements.

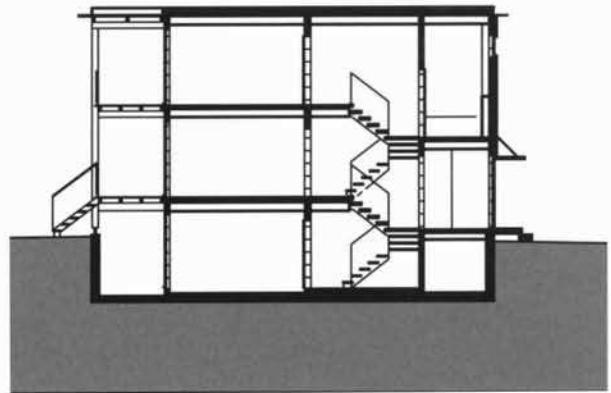
Ce lotissement en bande se trouve dans la partie sud du village d'Affoltern, sur un coteau ensoleillé et paisible orienté à l'ouest. La proximité de la gare et des infrastructures essentielles, ainsi que la situation du terrain, assurent l'intérêt de ce site. Cet ensemble dense tire bien profit de cette situation sur les plans économique et écologique.

Le terrain est desservi depuis le sud par deux impasses allant du nord au sud. Chacun des garages, en sous-sol, à l'est de chaque voie servant pour le jeu et l'accès aux logements, est surmonté par le jardin privé de la maison voisine, ce qui minimise les terrassements et l'imperméabilisation du sol. Ainsi des économies ont-elles pu être réalisées tout en offrant des possibilités d'utilisation supplémentaires dans l'avenir. Le garage ouvert peut en effet servir aussi à d'autres usages, comme par exemple un atelier, un local pour un hobby ou un espace de jeu couvert pour les enfants.

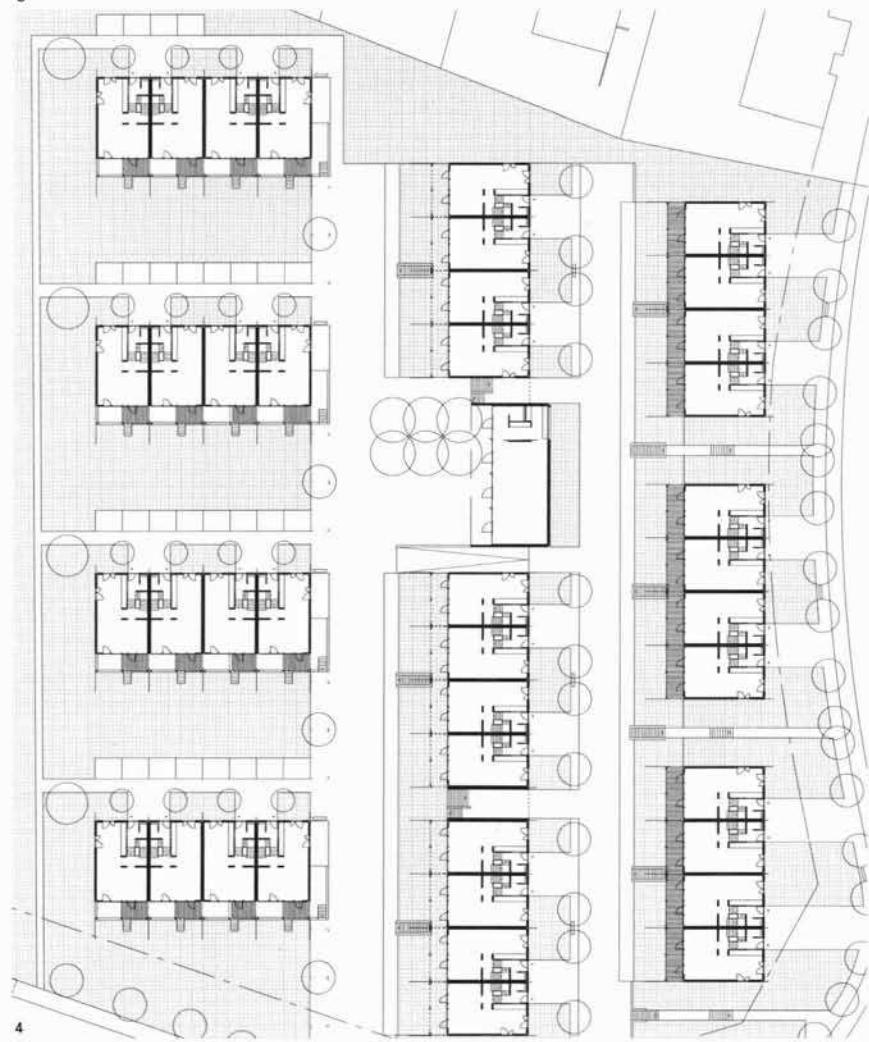
Les voies de desserte divisent le terrain en trois parties aux typologies différentes (de 4,5 à 6 pièces). Les immeubles sont répartis en dix petits groupes en bande, comportant chacun quatre appartements. La partie haute comprend trois groupes d'immeubles parallèles à la voie de desserte et adossés au coteau. Leurs séjours et leurs jardins sont orientés à l'ouest. Dans la partie inférieure, plane, se trouvent les quatre



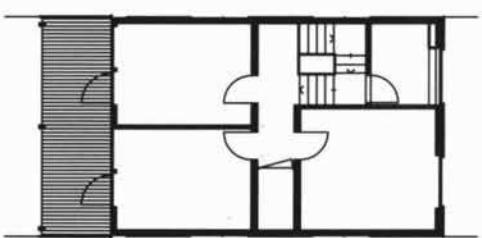
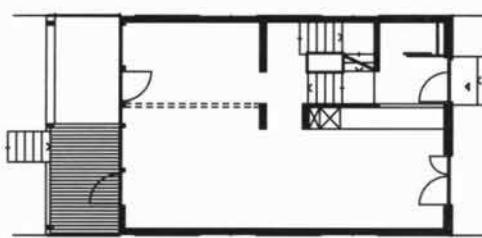
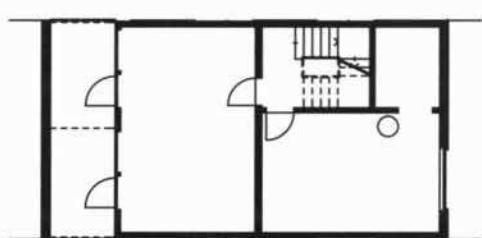
2



3



4



5

- 1 Centre du lotissement, place devant la maison commune
- 2 Maquette
- 3 Coupe du terrain, sans échelle
- 4 Plan de masse, sans échelle
- 5 Maison type A (orientée au sud): coupe et plans RDJ, RDC et étage, sans échelle



6

7



immeubles orientés au sud. La desserte se fait depuis l'impasse par de courtes allées situées à chaque fois au nord de la rangée.

La disposition décalée des groupes de bâtiments à flanc de coteau offre des perspectives variées à travers l'ensemble du lotissement. Entre les immeubles, un réseau d'allées, de passages et d'escaliers relie entre eux les différents appartements.

Dans les parties habitées et les jardins, l'intimité de la sphère privée est assurée. Dans les immeubles orientés à l'ouest, la pente du terrain entraîne une différence de niveau entre zone publique et zone privée. En rez-de-jardin, les locaux de rangement servent d'abri et de pergola séparant voies de desserte et jardins.

Une maison commune s'élève au centre de ces 40 logements en bande ; elle doit servir de base pour une infrastructure communautaire.

Chacun des trois types d'immeuble est conçu sur le même schéma : 6m de large sur 9m de profondeur. Leurs dimensions varient en hauteur ; ils peuvent, selon leur situation, compter



8

deux, deux et demi ou bien trois étages. Ce principe simple permet aux occupants de diviser et d'utiliser l'espace selon leurs désirs et leurs besoins.

Le dimensionnement des structures, les façades et les installations techniques sont uniformisés. Sur les façades des pièces principales, les balcons filants sont identiques à tous les étages ; ils prolongent la surface habitable et protègent les baies vitrées du soleil estival.

La pente permet de décaler d'un demi-niveau les jardins et les accès. Le plan intérieur offre par conséquent des différences sensibles de niveaux dans la distribution interne et les pièces humides. Il en résulte des variations de hauteurs sous plafond, de vues traversantes et d'ouvertures.

Le lotissement est chauffé grâce à des pompes à chaleur sol/eau. Cela augmente certes les investissements par rapport à un chauffage classique mais supprime les dégagements de dioxyde de carbone et les transports de combustible. Pour chaque groupe de quatre appartements, on a prévu une sonde géothermique

associée à une pompe à chaleur prélevant de l'eau à 20 °C à 180 m de profondeur. Le chauffage s'effectue de façon classique par des radiateurs thermostatiques, chaque logement étant muni d'un compteur.

Pour l'eau chaude sanitaire, un complément est assuré pour chaque immeuble par une installation solaire thermique. Certains logements sont pourvus, d'origine, de capteurs solaires. Pour les autres, une installation ultérieure est possible.

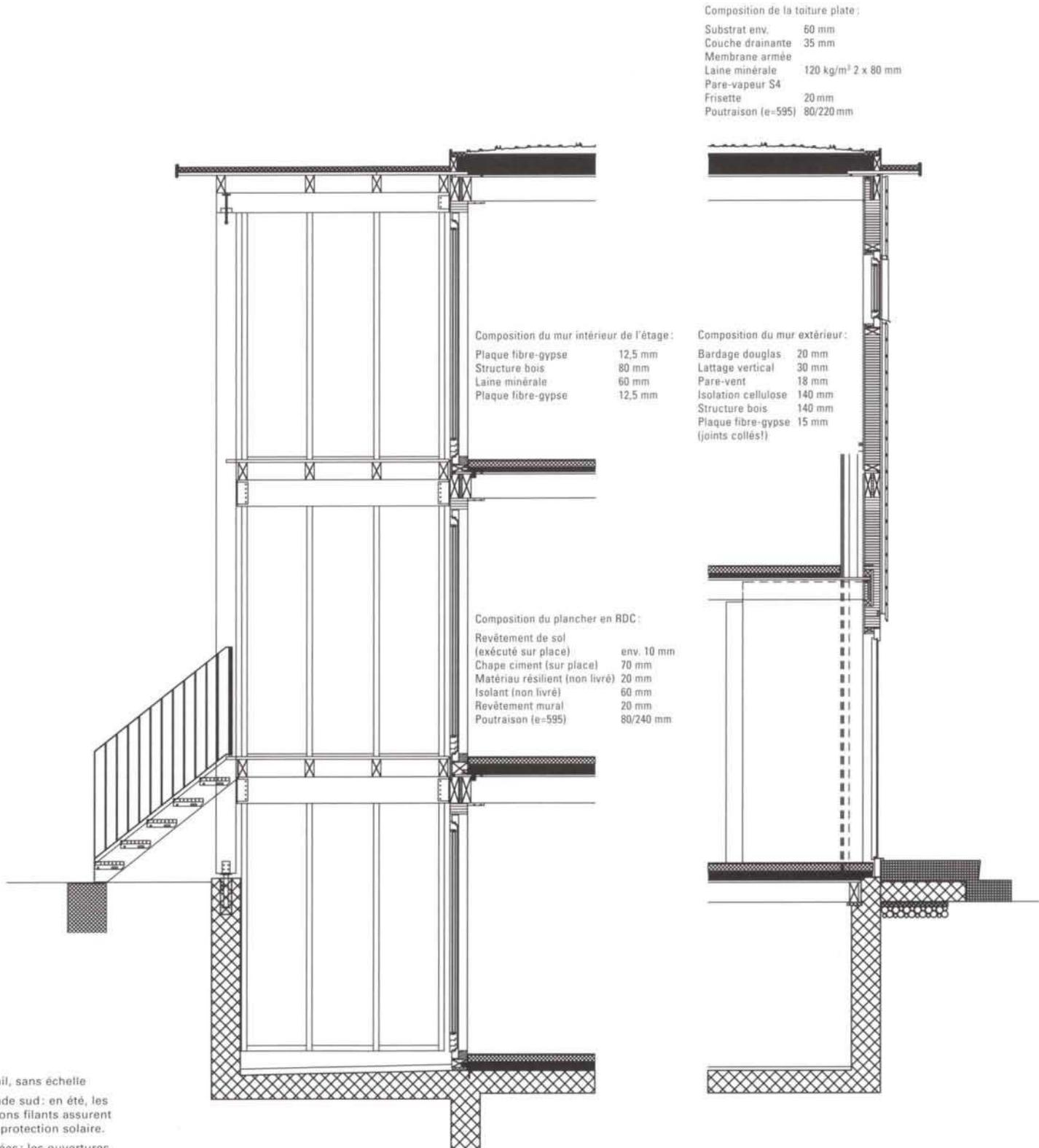
Des matériaux sains et durables assurent le confort intérieur et rendent les maisons en bois encore plus agréables à vivre. L'utilisation de panneaux de bois préfabriqués de grandes dimensions a réduit la durée du chantier et permis un montage à sec. En une semaine, quatre maisons en bande ont pu être édifiées sur les soubassements en béton armé des caves et des garages. Le choix d'éléments préfabriqués en bois était accompagné de mesures importantes de traitement durable des matériaux : du bois brut pour la structure porteuse, les poutres et coffrages apparents, les balcons et le bardage des façades.

La pureté de l'architecture avec ses volumes

6 Séjour

7 Toiture végétale

8 Espaces extérieurs et garages ouverts



compacts et simples dépourvus de retraits et de saillies dans les façades optimise le rapport surface extérieure/volume. La construction compacte associée à une bonne isolation thermique des façades et de la toiture explique les faibles besoins en énergie pour le chauffage. Grâce au recours au bois et à ses dérivés, une bonne isolation est possible pour de faibles épaisseurs de murs.

Le substrat végétal de la toiture repose sur 160 mm de laine de roche et les murs comprennent 140 mm d'isolant en fibres de cellulose et des panneaux de fibres tendres de 20 mm. De plus, l'enveloppe perspirante (qui laisse transiter l'humidité) extérieure en bois et fibres de cellulose contribue à la salubrité intérieure.

La végétalisation extensive des toits plats joue un rôle régulateur par rapport à la poussière et à l'humidité. Elle retarde l'écoulement des eaux de pluie et augmente l'inertie thermique du bâtiment l'été. L'ensemble des eaux de pluie s'écoule dans un système de canalisations ouvertes jusqu'à une cuve de rétention comprenant de l'humus avant de s'épandre dans l'environnement naturel proche.



10



11

## Comblement d'une dent creuse: Immeuble d'habitation à Munich

Architectes:  
H2R Architekten, Hüther, Hebensorger-Hüther,  
Röttig, Munich



1

### Informations sur le projet:

Concours: fin 1996

Livraison: 2001

Surf. hab.: 2 780 m<sup>2</sup>

SHOB: 3 356 m<sup>2</sup>

Volume du bâtiment:

13 860 m<sup>3</sup>

Consommation pour le chauffage tour et bâti. sud:

46,5 kWh/m<sup>2</sup>/an

Bâti. ouest:

49,9 kWh/m<sup>2</sup>/an

Coefficient U toiture:

0,19 W/m<sup>2</sup>.K

Coefficient U mur extérieur:

léger: 0,24 W/m<sup>2</sup>.K

massif: 0,25 W/m<sup>2</sup>.K

Coefficient U plancher au-dessus niv. inf.:

0,20 W/m<sup>2</sup>.K

Coefficient U fenêtre:

1,10 W/m<sup>2</sup>.K

Outre les mesures d'économie d'énergie ou l'intégration de l'énergie solaire passive, d'autres facteurs peuvent contribuer à une réduction de la consommation énergétique dans le domaine du logement. L'utilisation du bâtiment et le comportement des occupants ou propriétaires jouent, dans la gestion rationnelle de l'énergie, également un rôle important – même si celui-ci n'est pas toujours quantifiable. On évoquera ici, par exemple, la diversification de la taille des logements, assurant un taux d'occupation élevé et constant, et la conception de plans flexibles et divisibles, susceptibles de s'adapter, le cas échéant, à de nouvelles fonctions. C'est là non seulement une garantie d'utilisation continue du bâti, pensée sur le long terme, mais aussi un moyen d'éviter des travaux ultérieurs coûteux et consommateurs d'énergie.

Le comblement d'une dent creuse d'un îlot situé à Schwabing, un quartier du centre-ville, est un projet communautaire associant les futurs habitants au processus de conception. Leur participation, depuis le choix des archi-

tectes jusqu'à la gestion partielle du bâtiment, en passant par la conception des plans, a été déterminante pour la réalisation d'économies sur ce projet. La construction d'un immeuble d'habitation accessible à tous devait en outre favoriser l'équilibre social de l'habitat en centre-ville. Le concept développé à cet effet ne se contente pas de mettre en avant le rapport entre habiter et travailler, mais il vise également une diversification sociale: réunir à l'intérieur de l'immeuble des personnes aux niveaux de revenus différents et appartenant à des types de foyers divers.

La forte implication des futurs occupants a donné lieu à des logements très variés selon leur surface, les subventions possibles et les idées de chacun.

28 logements d'une à quatre pièces (de 30 à 120 m<sup>2</sup>) ont ainsi été construits; six d'entre eux sont accessibles aux personnes handicapées et sont répartis sur tous les niveaux. Le bâtiment comprend aussi deux bureaux



2



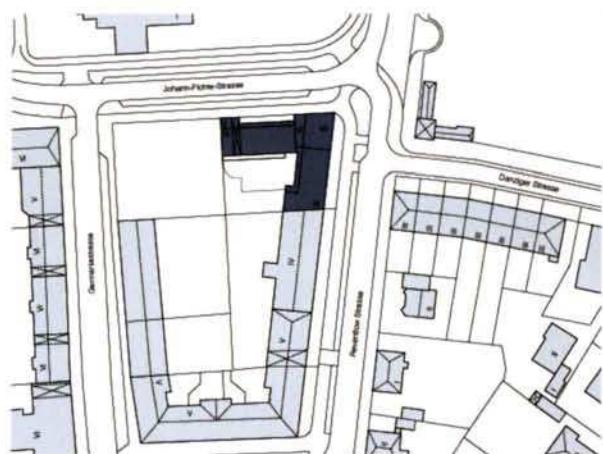
3



4



5

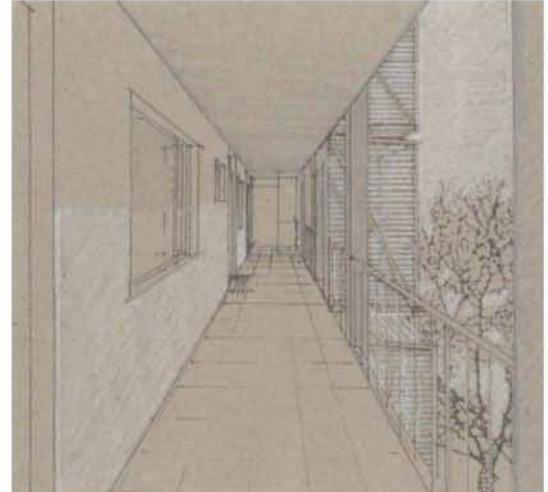


6

- 1 Façade nord-ouest
- 2 Plan rez-de-chaussée, sans échelle, avec hall d'entrée, locaux médicalisés, appartement pour personne dépendante et appartement visiteurs
- 3 Plan 3<sup>e</sup> étage, sans échelle, avec logements définis par les utilisateurs
- 4 Plan 4<sup>e</sup> étage, sans échelle, avec salle commune et toiture-terrasse
- 5 Vue du nord, sans échelle
- 6 Plan de masse, sans échelle



7



9

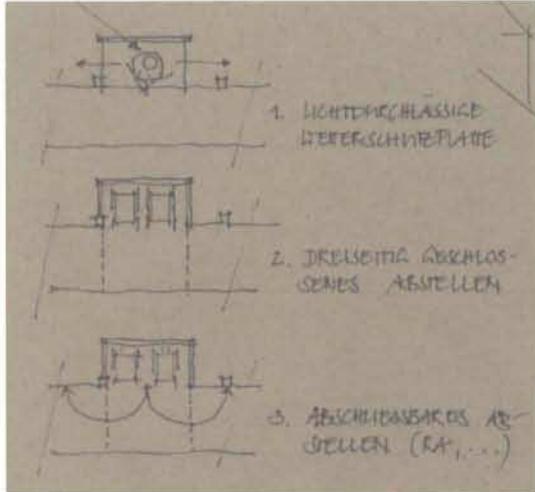
accessibles à tous, un appartement adapté aux personnes dépendantes et un autre pour les visiteurs. Le stationnement souterrain a été aménagé à 75%, le reste est à finir. Des locaux communs et une grande terrasse commune d'environ 200 m<sup>2</sup>, aménagés en toiture, ainsi que la cour intérieure plantée et dallée en partie – ce qui garantit l'accès aux handicapés – complètent l'offre d'activités sociales collectives.

L'ensemble se distingue par un bâtiment d'angle de sept niveaux, aux allures de tour, auquel se rattachent deux ailes. Au rez-de-chaussée se trouve un vaste hall d'entrée qui peut aussi être utilisé pour des activités sociales; il dessert la cage d'escalier et deux ascenseurs pour personnes handicapées. Depuis la tour, on peut accéder à tous les logements en empruntant de courtes coursives également adaptées aux handicapés et aussi, se déplacer d'un logement à l'autre. Les coursives de l'aile comprenant quatre niveaux, orientée est-ouest, sont situées à l'ouest et donnent sur la cour. En raison de leurs dimensions et du fait qu'elles s'élargissent aux extrémités, elles servent aussi de terrasses aux logements contigus. Un escalier de secours à vis assure une liaison directe avec la cour.

L'aile de six niveaux est orientée au sud et desservie par le nord. Des balcons aux allures de boîtes, suspendus aux coursives, donnent à la



8



10

façade sur rue son aspect caractéristique. Ces éléments construits comme de simples balcons en acier sont utilisés comme espaces d'appoint pour les logements: ils sont tantôt espace de rangement ouvert ou fermé, tantôt espace de jeu ou de détente.

L'alimentation en chaleur de l'immeuble par le réseau de chauffage urbain de la ville de Munich se fait au niveau de la sous-station équipée d'échangeurs thermiques à faisceau tubulaire.

La distribution se fait par un réseau de chauffage à eau chaude – la température de départ étant de 70°C et la température de retour, de 50°C. La chaleur est diffusée dans les pièces grâce à des radiateurs tubulaires verticaux dont la forte capacité de rayonnement assure un réel confort thermique.

À la demande du maître d'ouvrage, le raccordement au système de chauffage urbain, que l'on peut estimer rentable sur le plan énergétique, a été complété par un système d'eau chaude sanitaire solaire. Les collecteurs solaires thermiques d'une surface globale de 52 m<sup>2</sup> sont installés sur la structure métallique des balcons de la façade sud et protègent ainsi ces derniers des intempéries et du soleil. En se basant sur les économies d'énergie calculées pour la première année d'exploitation, on peut prévoir un amortissement sur seulement cinq années.



11

12



7 Courintérieurecommune

8 Vue de la coursive

9 Esquisse de la coursive avec les « boîtes »

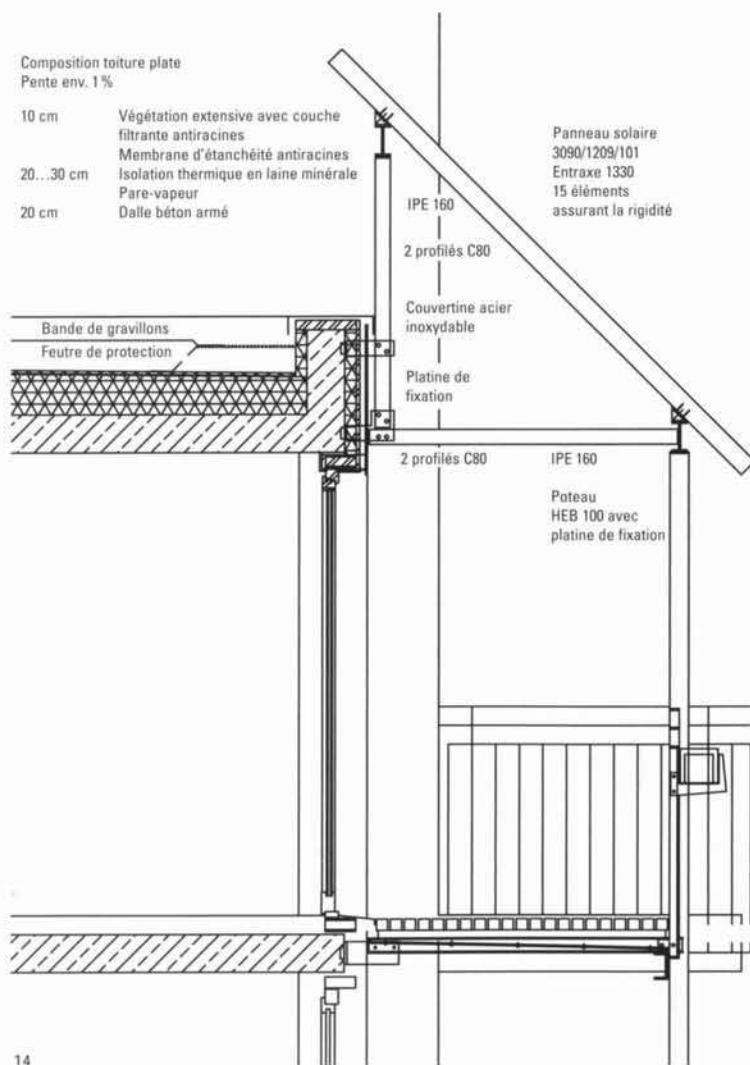
10 Schéma d'utilisation des « boîtes »

11 Façade sud avec les collecteurs solaires au-dessus des balcons

12 Cf. 11



13



14

Le projet ne visait pas seulement à satisfaire le standard d'isolation d'un bâtiment à basse consommation d'énergie et à intégrer l'énergie solaire active (sous la forme d'une installation solaire thermique), mais aussi à atteindre un haut standard écologique. C'est en ce sens qu'un système de récupération des eaux de pluie pour les toilettes et l'arrosage des jardins a été adopté. Une végétation extensive recouvre les toitures plates, protégées par un film. Et pour la ventilation du garage, un principe économique basé sur des conduits de ventilation enterrés a été développé. L'immeuble, voulu à l'origine en brique par le maître d'ouvrage et les futurs occupants, a en définitive une structure en béton armé.

Les coûts de construction devaient être réduits au minimum. Pourtant, la volonté d'atteindre le standard d'isolation d'un bâtiment à basse consommation d'énergie a été présente dès le début. La grande compacité du bâtiment et l'homogénéité de l'isolation par l'extérieur de l'enveloppe ont joué en ce sens. Il a donc été possible d'améliorer de 30% le minimum prescrit (au moment de la conception) par les normes d'isolation thermique.

Les murs extérieurs sur cour sont constitués d'une ossature en panneaux de bois recouverts de plaques de fibrociment. Les murs de la tour et les façades sur rue sont constitués de maçonnerie en brique ou de béton et d'une isolation thermique de 16cm d'épaisseur. Ils participent au concept global d'économies d'énergie et à l'inertie thermique, tout comme les murs mitoyens et les dalles en béton armé.



13 Coupe transversale de l'aile orientée au sud avec les capteurs solaires au-dessus des balcons et les « boîtes » accrochées à la coursive

14 Détail, sans échelle

15 Façade nord, détail avec les « boîtes » accrochées à la coursive

15

## Réparation urbaine: immeuble de bureaux et d'habitation à Munich

Architecte:  
Martin Pool, Munich



1

### Informations sur le projet:

Livraison: 2004  
SHON: 2 410 m<sup>2</sup>  
SHOB: 2 940 m<sup>2</sup>  
Volume du bâtiment:  
8 860 m<sup>3</sup>

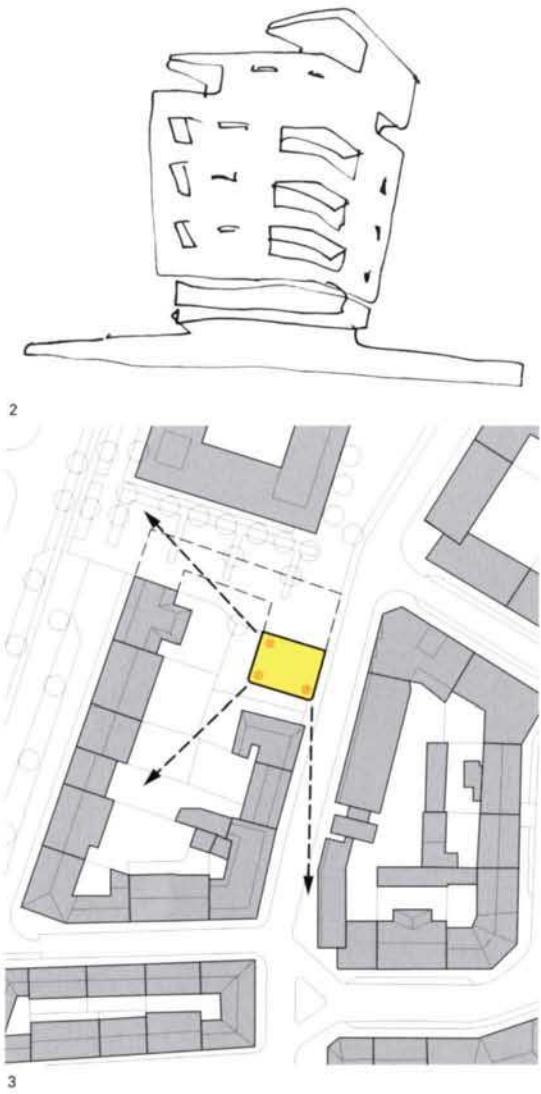
Consommation  
pour le chauffage:  
20 kWh/m<sup>2</sup>/an

Coefficient U toiture:  
0,13 W/m<sup>2</sup>.K  
Coefficient U mur  
extérieur:  
0,13 W/m<sup>2</sup>.K  
Coefficient U plancher  
RDC au-dessus niv. inf.:  
0,19 W/m<sup>2</sup>.K  
Coefficient U vitrage:  
0,7 W/m<sup>2</sup>.K

La construction d'un terrain laissé en friche depuis des décennies, où il ne restait que des ruines, a eu comme effet, grâce à la diversité fonctionnelle du projet et sa conception résolument urbaine, un prolongement vers le nord du quartier vivant et central de Lehel. En outre, elle offre au Land de Bavière, le propriétaire du terrain voisin au nord, la chance de réaliser une «réparation urbaine» en complétant par cette construction un îlot historique. Au sud aussi, ce nouvel immeuble permet de reconstituer à peu de choses près la situation d'avant-guerre. Il a été construit à une certaine distance de son voisin – un bâtiment ancien dont il a repris les hauteurs. Le parti architectural et le traitement

des derniers étages avec leurs terrasses trouvent un écho dans les constructions nouvelles du quartier. La ligne d'égout du bâtiment voisin au sud est reprise, l'homogénéité du paysage de la rue est respectée et même renforcée.

Bien que ce nouvel immeuble soit relativement proche du bâtiment voisin côté sud, il a été possible, grâce à l'intervalle laissé entre les deux constructions, de ménager aux angles du bâtiment de larges vues sur l'extérieur et de parvenir à de bonnes conditions d'ensoleillement. Même au rez-de-chaussée et en hiver, les angles du bâtiment peuvent jouir du soleil pendant quelques heures. Cette possibilité a été saisie et



a constitué le point de départ du parti architectural. D'une part, les angles sont marqués par de grandes ouvertures – comme le montre une première esquisse – et, d'autre part, le plan est défini par une desserte en diagonale. Un axe visuel part de la porte d'entrée de l'appartement, située au cœur du bâtiment pour traverser le couloir, le séjour et la fenêtre d'angle et se prolonger soit jusqu'à la cour, soit jusqu'à la rue. C'est dans cette partie que se trouvent les séjours et les cuisines. La partie privée – chambres et salles de bains – occupe l'arrière du bâtiment. Les façades sur cour présentent un aspect plutôt fermé. Les chambres et les salles de bains sont orientées soit à l'est, soit à l'ouest.

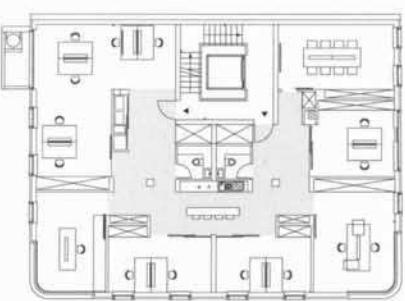
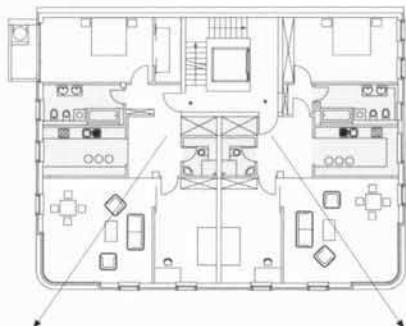
Dans l'attente de la construction d'un bâtiment mitoyen, l'ensemble de la façade nord est fermé et constitue un mur coupe-feu. Néanmoins, les pièces principales sont bien éclairées car le cœur du bâtiment est occupé par une cage d'escalier centrale et par les habituels locaux annexes. La partie réservée à l'habitation, orientée au sud, est bien éclairée, la lumière pénétrant dans l'espace ouvert du séjour sur deux côtés.

Les étages de bureaux sont traités en espaces paysagers très flexibles et comprennent peu de poteaux. La diversité de caractère des différentes parties de l'immeuble ainsi que les espaces de service structurent l'ensemble. Ces derniers

1 Vue depuis le sud : les fenêtres d'angle laissent pénétrer lumière et soleil.  
2 Esquisse préliminaire

3 Plan de masse, sans échelle

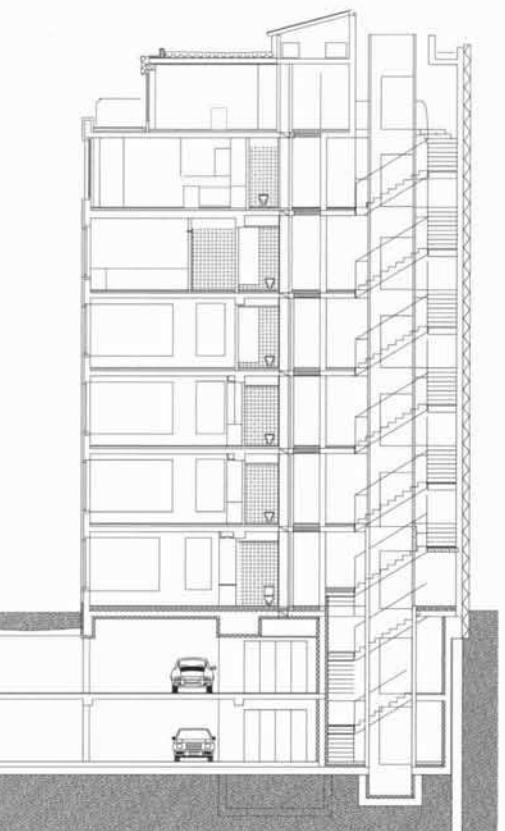
4 Vue du tissu urbain



6



7



comprennent le serveur informatique, la kitchenette, les archives, les locaux techniques et la structure; ils séparent l'entrée et les espaces de travail.

Les locaux de rangement qui jouxtent l'escalier au sud peuvent être réunis et former un couloir permettant de relier la partie est à la partie ouest de l'immeuble (et vice-versa). Cet espace permet également, si nécessaire, de faire communiquer différents niveaux par un escalier à une volée. Une trémie a été ménagée pour cette éventualité. Cette liaison peut être réalisée à tous les étages. Les niveaux supérieurs du bâtiment sont en gradins; les appartements disposent ici de vastes terrasses.

En dépit de l'ombre portée par les bâtiments voisins, la consommation énergétique annuelle ne dépasse pas 20kWh par m<sup>2</sup> de surface habitable. Elle est ainsi nettement en deçà du standard exigé pour un bâtiment à basse consommation d'énergie (30 à 70kWh/m<sup>2</sup>/an) et bien en deçà encore du niveau moyen des immeubles de bureaux et d'habitation de Munich (200 kWh/m<sup>2</sup>/an). Avec seulement un dixième de la consommation courante en eau chaude (chauf-

fage et eau chaude sanitaire), les coûts d'exploitation du bâtiment sont réduits durablement.

Cela est dû essentiellement aux caractéristiques et aux mesures suivantes.

Le bâtiment présente une forme cubique, donc très compacte. Puisque les déperditions thermiques d'un bâtiment dépendent de la surface de son enveloppe, une grande partie de celles-ci sont réduites grâce à cette compacité. On a renoncé aux balcons et encorbellements qui agissent comme des « ailettes de réfrigération », ainsi qu'aux saillies et aux retraits en façade. Grâce à la forme du bâtiment (en forme de dé) et à son plan ouvert, un grand nombre de pièces bénéficient d'un éclairage naturel sur deux de leurs côtés. Le traitement de l'angle qui en découle (les fenêtres d'angle font penser à des oriels) ne modifie en aucun cas la compacité du bâtiment.

Les façades extérieures sont recouvertes de panneaux isolants sous vide (PIV) utilisés – à notre connaissance, pour la première fois pour l'isolation d'un immeuble. Leur performance thermique est 8 à 10 fois supérieure à celle des isolants courants comparables. Les éléments choisis ici sont fabriqués selon un procédé breveté qui réduit au minimum les déperditions thermiques

5 Plan étage d'habitation, sans échelle

6 Plan étage de bureaux, sans échelle

7 Coupe, sans échelle



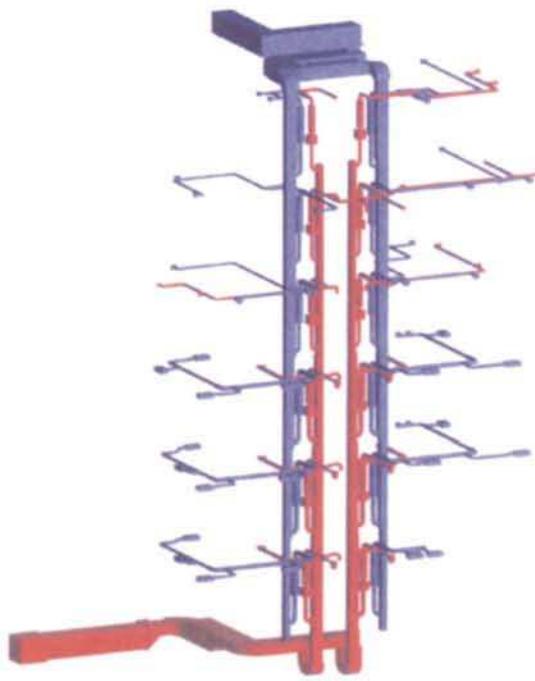
8



9



10



11

(linéaires) en bordure des panneaux. Grâce à l'utilisation de ces panneaux d'une épaisseur de 2 cm seulement (avec un support d'enduit de 8 cm en guise de protection), il est possible d'atteindre les coefficients thermiques d'un bâtiment passif et cela, sans perte de surface au sol (correspondant à une isolation épaisse des murs extérieurs) ni de réduction des apports solaires (en raison de profondes embrasures).

Les panneaux sont appliqués à la façade selon un procédé spécifique développé par un fabricant renommé de systèmes d'isolation thermique en collaboration avec les architectes et un conseiller en énergie. La mise en œuvre de cette innovation dans la construction a fait ici l'objet d'un agrément particulier.

Dans la partie la mieux exposée au soleil, les larges baies vitrées situées aux angles arrondis du bâtiment assurent une pénétration optimale de la lumière. En été et durant l'intersaison, elles peuvent être ouvertes en totalité et devenir des loggias; en hiver, ces parties agrandissent la surface habitable. Toutes les fenêtres ont un triple vitrage, des stores vénitiens intégrés et des menuiseries à isolation renforcée.

8 Local technique avec la centrale de chauffage

9 Gaines techniques à un étage normal

10 Montage du complexe isolant

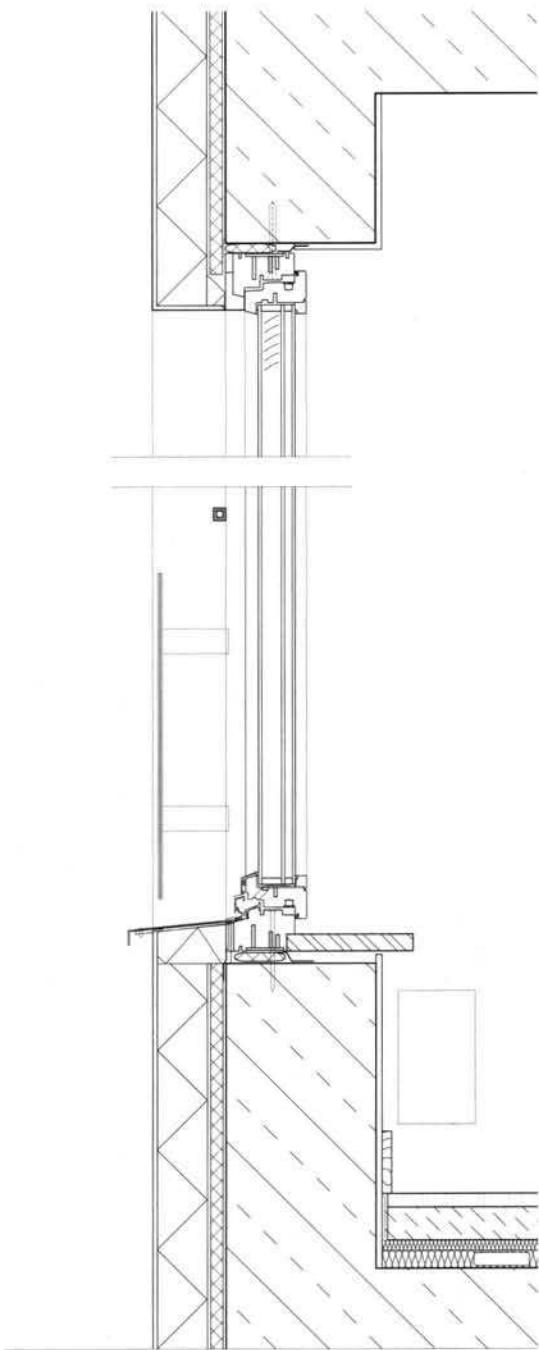
11 Schéma axonométrique de la ventilation

**12** Coupe verticale de la façade. De l'intérieur vers l'extérieur: enduit, béton armé 24 cm, avec des cales en polyuréthane recyclable 100/35 mm, panneau isolant sous vide 20 mm entre les lames de polyuréthane recyclable 30/50 mm, baguettes collées et chevillées aux cales, isolant polyuréthane 80 mm, baguettes collées et chevillées aux lames, enduit minéral armé, 7 mm

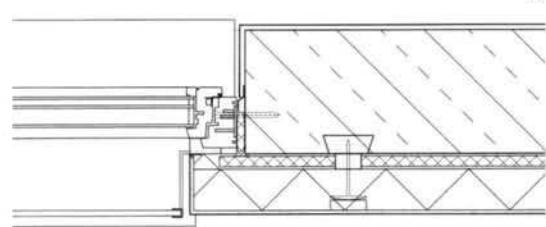
Fenêtre bois pour maison passive à triple vitrage avec protection solaire intégrée et profil supplémentaire pour le montage

Allège en vitrage feuilleté VSG et attaches en acier inoxydable, appui de fenêtre extérieur en aluminium avec revêtement antivibatoire

**13** Coupe horizontale liaison fenêtre/mur, montage identique à celui ci-dessus, sans échelle



12



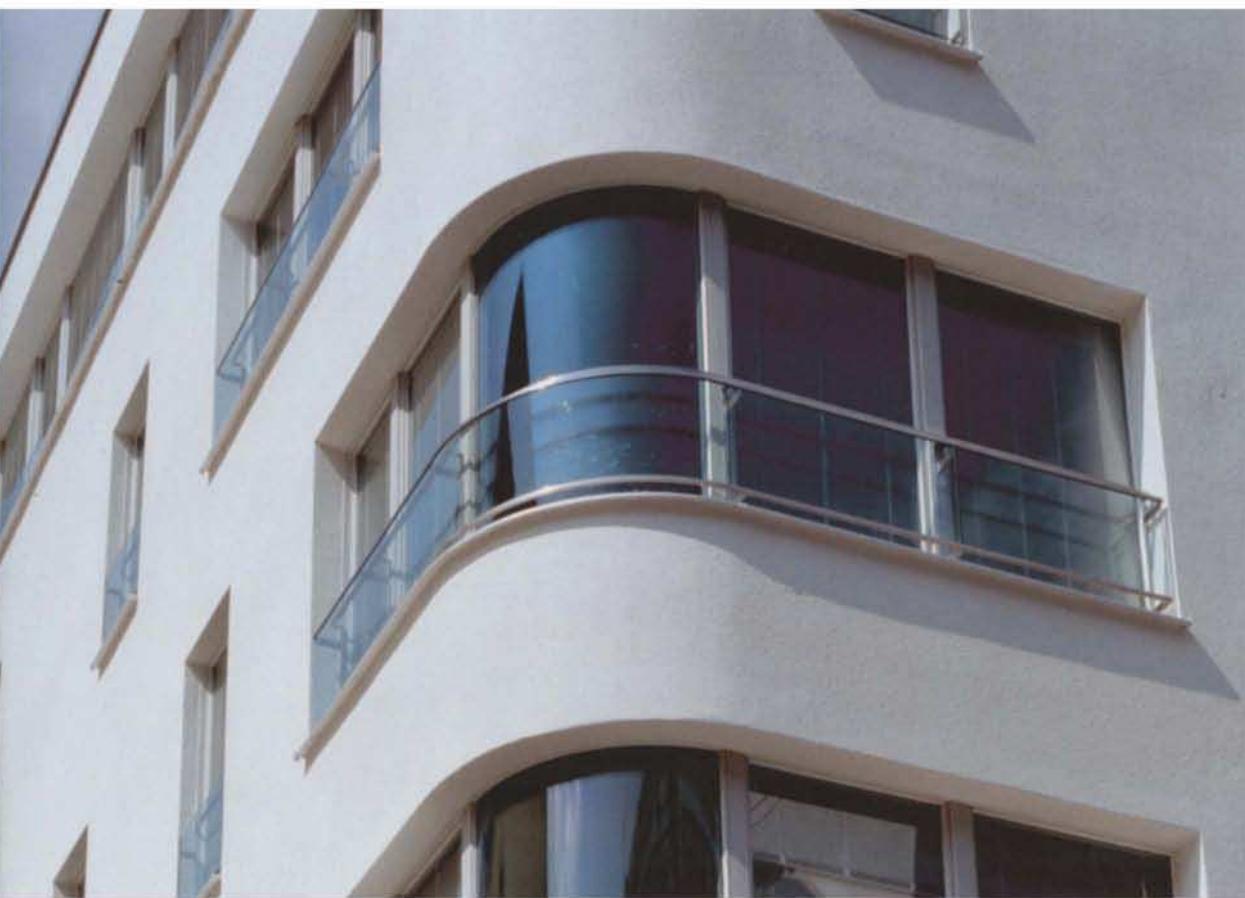
13



14



15



La configuration du dormant permet de recouvrir d'isolant la totalité de ce dernier et donc d'améliorer l'isolation au niveau de la liaison avec l'encadrement de la baie – liaison en général délicate sur le plan thermique.

Pour éviter les déperditions thermiques dues à une ventilation non maîtrisée et pour améliorer la qualité de l'air, un système de ventilation avec récupération de chaleur a été prévu. L'air neuf est aspiré au niveau de la toiture végétale et introduit dans tous les bureaux et logements. L'air vicié chaud aspiré réchauffe l'air froid pulsé grâce à un échangeur thermique.

La consommation résiduelle est trop faible pour nécessiter le raccordement au chauffage urbain : il suffit d'une production combinée chaleur-électricité fonctionnant au gaz naturel et d'une chaudière à condensation complémentaire. Grâce à la production simultanée d'électricité et de chaleur pour la consommation de l'immeuble, la précieuse énergie primaire est utilisée de manière optimale. En plus, la production combinée constitue un élément intégrable à une future centrale virtuelle en réseau de la ville de Munich.

Il est de même prévu d'intégrer à la toiture végétalisée une installation photovoltaïque

pour la production d'électricité à partir de la lumière solaire.

L'eau de la nappe phréatique pompée (à env. 8°C) permet de rafraîchir les bureaux et les logements en été de manière naturelle en consommant peu d'énergie et sans climatisation gourmande en énergie. Des ailettes de refroidissement ou un système à induction peuvent, le cas échéant, être montés sur des canalisations fixes ou combinés à la ventilation.

Enfin, le tissu dense du centre-ville contribue pour une bonne part à l'efficacité énergétique du bâtiment. La courte durée des trajets et la bonne liaison avec le réseau de transports en commun, le peu d'investissements nécessaires aux accès et les emplois disponibles à proximité des logements contribuent de manière comparable aux économies réalisées sur le chauffage à ces performances énergétiques.

Ce projet pourrait sur le long terme jouer un rôle pilote pour la construction d'immeubles d'habitation et de commerce énergétiquement efficaces, et cela même dans le contexte d'un quartier urbain dense et en dépit des limites que cette densité entraîne pour l'ensoleillement.

14 Vue partielle de la façade avec les fenêtres d'angle arrondies

15 Bureau avec vue à travers la fenêtre d'angle sur la rue

## Comblement d'une dent creuse: immeuble de bureaux et de logements à Wiesbaden

Architecte:  
A-Z Architekten, Wiesbaden



1

### Informations sur le projet:

Livraison: 2002

SHON: 400 m<sup>2</sup>

Volume du bâtiment:

2334 m<sup>3</sup>

Consommation pour le chauffage des bureaux:  
17,8 kWh/m<sup>2</sup>/an,  
selon le logiciel PHPP

Coefficient U mur  
extérieur: 0,21 W/m<sup>2</sup>.K

Coefficient U murs du  
sous-sol: 0,12 W/m<sup>2</sup>.K

Coefficient U plancher:  
0,39 W/m<sup>2</sup>.K

Coefficient U fenêtre et

poteau façade: 0,8 W/m<sup>2</sup>.K

Le terrain de petites dimensions (seulement 9m de large sur 20m de profondeur) est situé dans une zone de réhabilitation du centre de Wiesbaden. De hauts murs coupe-feu limitent l'étroite parcelle au nord et au sud. Les fenêtres ne sont donc possibles qu'à l'est et à l'ouest. Ces conditions auxquelles s'ajoute l'ombre due à la densité du tissu urbain semblent peu propices à l'utilisation passive de l'énergie solaire. Le seul avantage réside dans la profondeur et la compacité du futur bâtiment en raison de l'étroitesse du terrain. Cela explique le concept: une surface vitrée de l'ordre de 42% et, dans le même temps, une optimisation de l'ensoleillement journalier, une minimisation des déperditions thermiques.

Le bâtiment devait regrouper sous un même toit logements et locaux professionnels. L'agence de l'architecte concepteur de l'opération – et aussi maître d'ouvrage – occupe le sous-sol, le rez-de-chaussée et le premier étage. Le bureau paysager du second étage est loué à une agence de communication. Au-dessus, aux troisième et quatrième étages, se trouvent deux logements subventionnés de 4 pièces. Un penthouse d'une seule pièce donnant sur un grand toit-terrasse occupe l'attique. Pour contourner le problème d'exiguïté du terrain, le bâtiment est équipé d'un système de places de stationnement pour 3 voitures avec des planchers mobiles.

Tous les séjours et les bureaux sont en façade tandis que les locaux sanitaires et les cuisines sont regroupés au centre du bâtiment.

Les bureaux, comme les salles à manger et les séjours, s'étendent sur toute la profondeur du bâtiment. Dans les logements, des cloisons de séparation légères rendent le plan flexible. Les chambres individuelles ont, le long de la façade, des portes coulissantes qui, ouvertes, renforcent l'impression d'espace.

Les bureaux sont dotés, sur la façade ouest, d'un puits de lumière qui éclaire les espaces en contrebas le jour. Une ouverture circulaire joue le même rôle pour le sous-sol: recouverte par un vitrage, elle sert de table de réunions sur la terrasse, en été.

Les objectifs suivants étaient fixés:

- un bâtiment très bien ensoleillé avec une vue sur la ville depuis l'appartement du haut;
- un bureau tranquille protégé des bruits de la rue mais bien ventilé;
- des baies vitrées sur toute la hauteur, sans radiateur placé devant;
- une construction durable et sans rénovation consommatrice d'énergie;
- des coûts de fonctionnement minimisés sur le long terme.

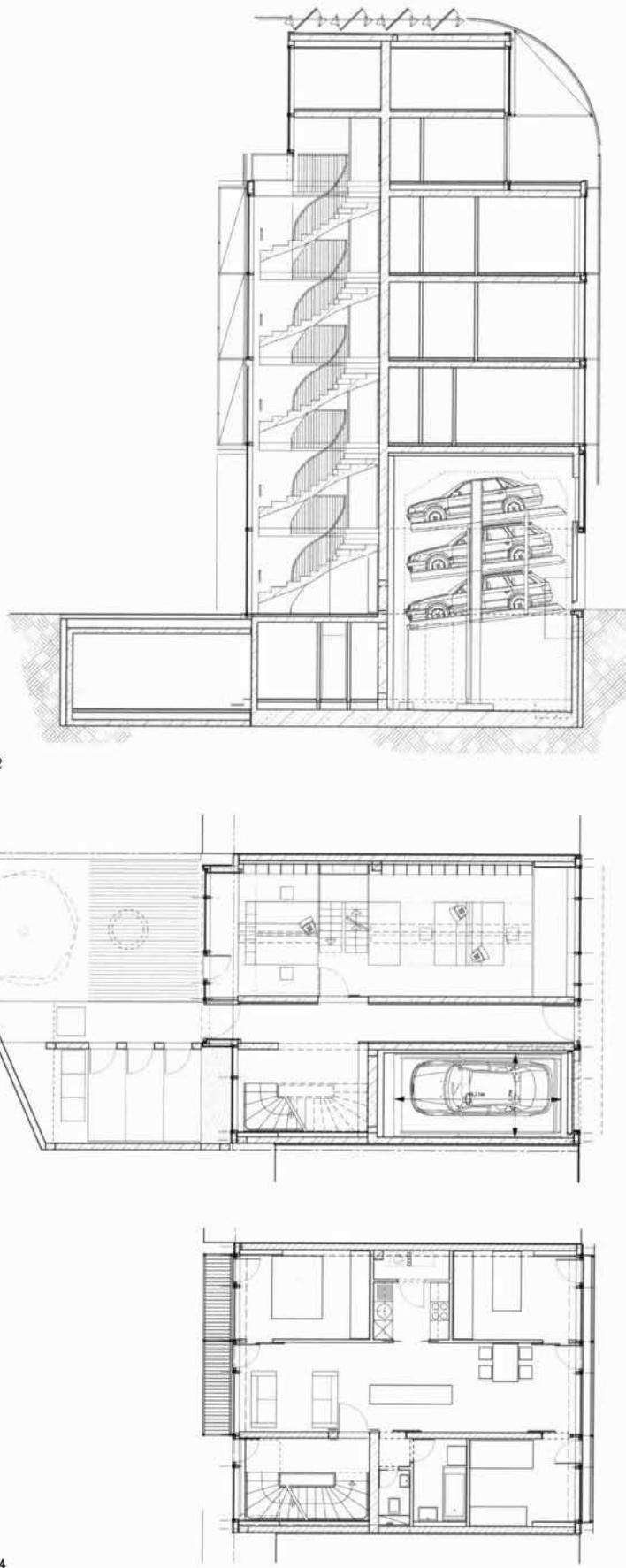
Toutes ces mesures devaient en même temps être économiques.

L'air frais destiné aux bureaux est réchauffé ou rafraîchi de 2 ou 3°C par un puits canadien. Une sonde géothermique en matière plastique de 20m de long a été enterrée lors des terrassements. La longueur du capteur a ici été limitée par la surface de terrain disponible. L'air est introduit puis évacué par le jardin.

Pour pouvoir fonctionner en toute indépendance, les bureaux et les logements ont chacun une installation de ventilation dont l'entretien est à la charge de chaque utilisateur. Chaque logement possède son propre échangeur thermique – de la taille d'un placard à balais. L'air frais, capté en toiture, passe à travers des gaines en matière plastique intégrées dans la dalle de béton armé et est insufflé dans les chambres et les salles de bains. L'air vicié est extrait par les cuisines, salles de bains et sanitaires, puis évacué en toiture; un récupérateur de chaleur permet de restituer 90% de la chaleur à l'air neuf entrant.

Le fonctionnement décentralisé présente toutefois l'inconvénient de ne pouvoir exploiter les sources d'énergie ponctuelles comme le rayonnement solaire en toiture ou la chaleur produite par les bureaux pour les redistribuer à l'ensemble du bâtiment. Dans les bureaux, les gaines de ventilation passent derrière des étagères encastrées. Cachées par les lampes intégrées, les bouches d'aménée d'air sont regroupées du côté opposé à celui des bouches d'extraction.

Dans une région où les faîtages des bâtiments du début du siècle sont parallèles à la rue, on aurait dû prévoir une toiture identique,



1 Façade ouest sur la rue. Elle est constituée d'éléments préfabriqués d'une hauteur d'étage couvrant toute la largeur du bâtiment.

2 Coupe sur la cage d'escalier et le garage à trois niveaux

3 Plan des bureaux au rez-de-chaussée

4 Plan des logements au 3<sup>e</sup> étage.  
Coupes et plans, sans échelle



5

conforme au plan local d'urbanisme. Les autorités chargées de la protection des monuments historiques ont, en définitive, accepté – en raison du concept architectural innovant – un attique situé derrière la ligne d'égout et une toiture plate.

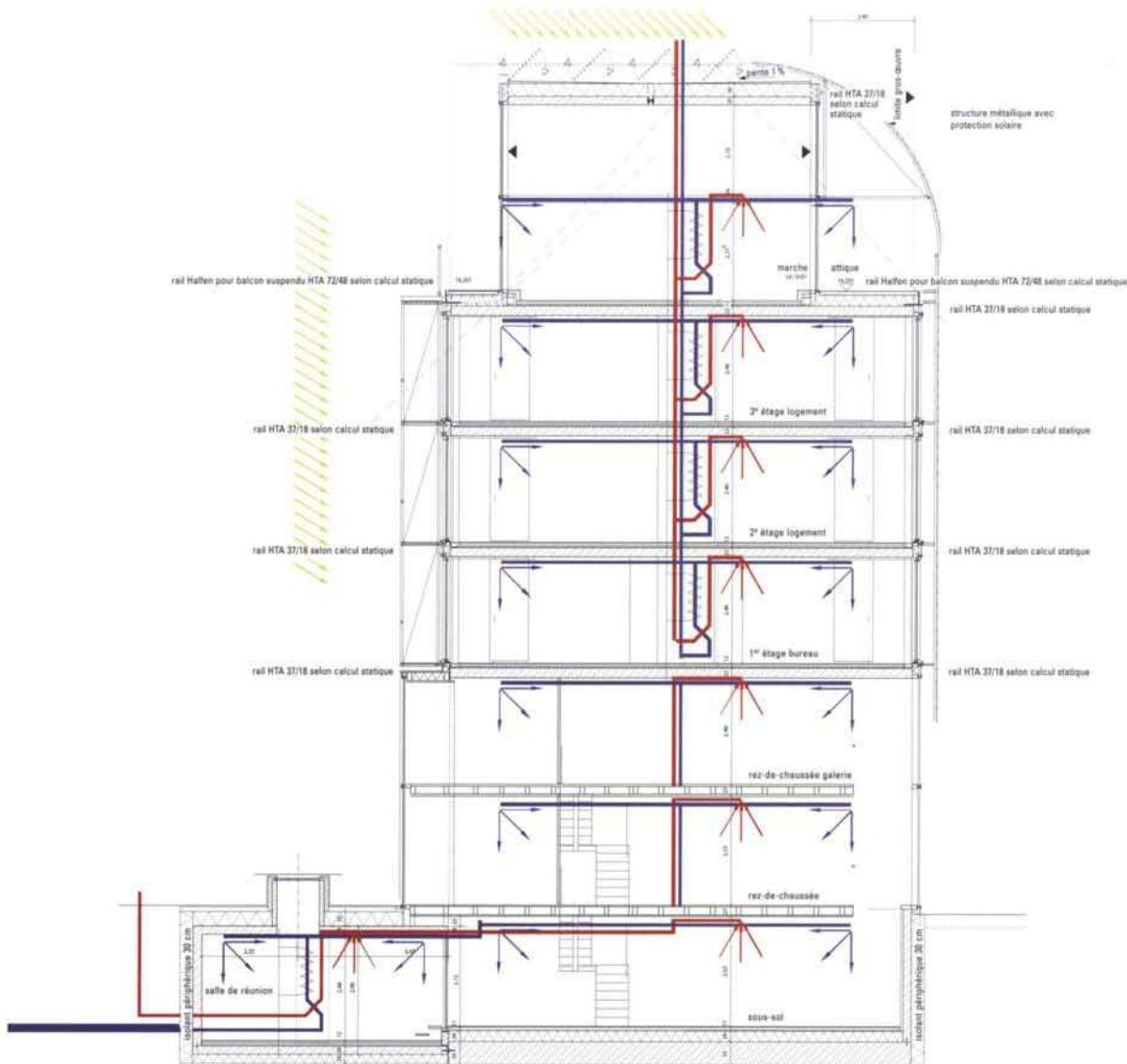
Celle-ci reçoit une installation solaire de 21 m<sup>2</sup> qui réchauffe l'eau de trois réservoirs de 800 litres situés dans le local technique au-dessus de l'escalier. Ils fournissent l'eau chaude du bâtiment et servent de chauffage d'appoint.

Pour des raisons de sécurité, le système d'eau chaude est équipé de résistances électriques. Les appartements ont des radiateurs dans les salles de bains et les séjours, le bureau en a deux au sous-sol. Au bout de cinq ans, ces mesures se sont avérées superflues car, par grand froid, seul le penthouse nécessite un chauffage complémentaire. La chaleur produite par le poste émetteur installé dans le garage constitue une source complémentaire pour le chauffage de l'agence d'architecte.

La première année d'exploitation révèle que l'énergie nécessaire pour le chauffage est négligeable: selon le logiciel PHPP (Planing House Package Program, conçu pour les maisons passives) elle s'élève à 17,8 kWh/m<sup>2</sup>/an. Cette valeur a même été inférieure après la première année d'exploitation.

La conception du plan a prévu le rafraîchissement de la sous-face de la prédalle par une ventilation nocturne transversale. Par contre, dans les bureaux, la façade est renforcée pour résister aux périodes de grand froid et aux bruits extérieurs: elle ne présente pas le moindre ouvrant côté rue. En été, l'aération transversale nocturne ne peut toutefois pas remplacer à elle seule la VMC.

Avec ce projet, les architectes ont pu montrer que la construction d'une maison passive même orientée est-ouest, sur un terrain mal ensoleillé, est possible.



6

Le gros œuvre en béton et en maçonnerie constitue la structure, les murs séparatifs et la masse d'inertie; visible à l'intérieur du bâtiment, il y définit l'espace. Le gros œuvre et tous les enduits ont été achevés avant le montage des matériaux nobles – de la façade ou de l'enveloppe.

Les fenêtres à triple vitrage constituent la partie la plus coûteuse d'un bâtiment passif mais, étant donné que l'on souhaitait une exploitation maximale de la lumière du tour, le choix d'une grande surface vitrée a prévalu.

La préfabrication complète des grands éléments de façade, hauts de 2,80 m sur toute la largeur du bâtiment (9 m), a permis d'atteindre haute qualité et étanchéité de l'enveloppe, et ce, pour un coût raisonnable. Le bois a été retenu en tant que matériau naturel pour réaliser les montants et traverses de la façade.

La façade a été préfabriquée par une entreprise qui s'est engagée à réaliser une construction de haute qualité exempte de ponts thermiques

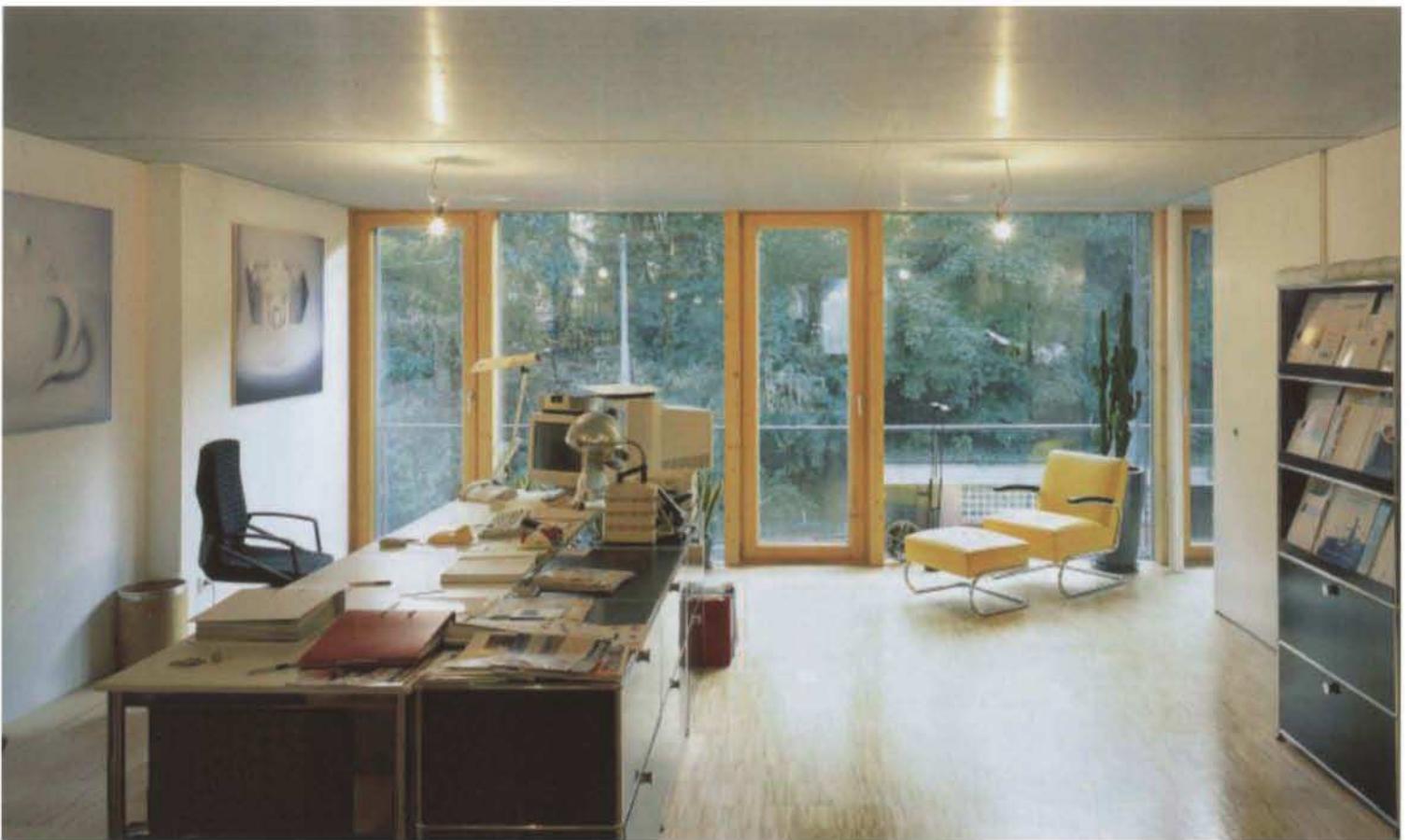
ou de fuites. Ce procédé présente l'avantage de permettre le montage rapide d'une façade lorsque le temps est favorable. Les façades est et ouest complètes ont chacune été livrées par un semi-remorque. Vissées à l'aide de consoles équerres, elles ont chacune été montées en deux jours. Deux autres journées ont suffi pour les étanchéifier complètement, ce qui a réduit de façon considérable la durée du chantier.

Dans le cas de grandes surfaces vitrées, il faut être très attentif à l'isolation thermique estivale. C'est pourquoi la façade des appartements est pourvue de stores vénitiens protégeant des regards et du soleil. Les bureaux du premier étage et du rez-de-chaussée profitent de l'ombre des arbres et les talus plantés situés en face.

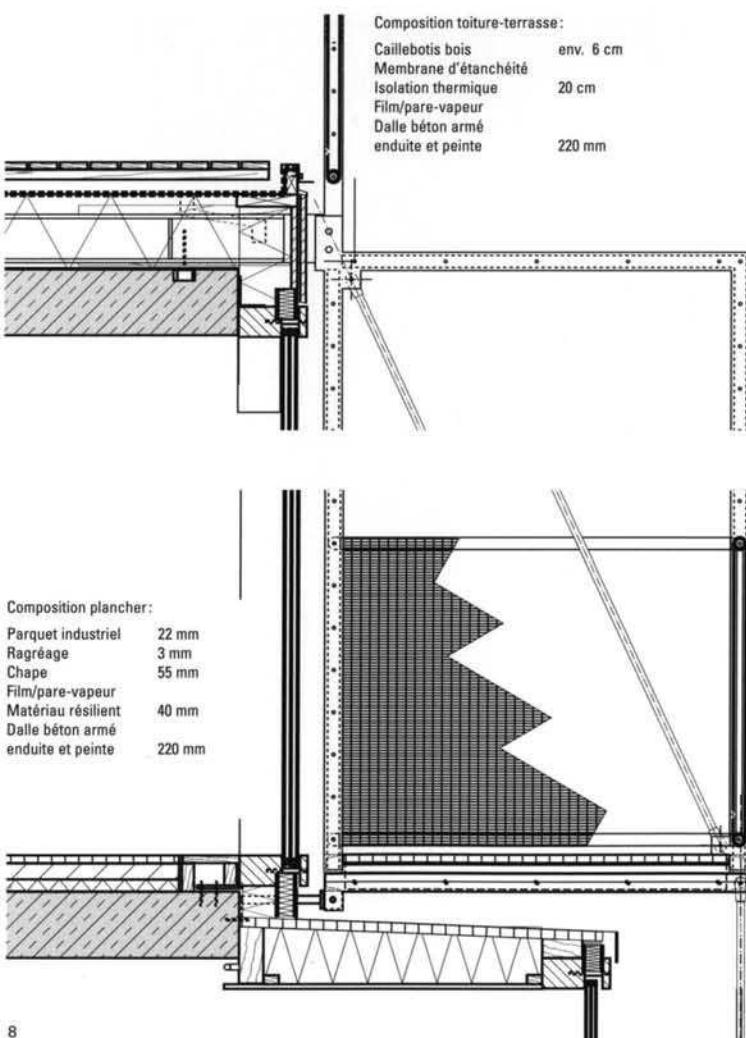
Les balcons en acier situés à l'est et donnant sur le jardin mais aussi les passerelles de service de la façade ouest sont suspendus à la toiture. Les rares consoles indispensables représentent

5 Vue sur le séjour et l'espace repas. La pièce est éclairée et ensoleillée des deux côtés.

6 Coupe schématique avec indication de la ventilation contrôlée équipée d'un récupérateur de chaleur. Logements et bureaux possèdent leur propre système; l'air insufflé dans les bureaux est préchauffé par une pompe à chaleur géothermique.



7



8

des ponts thermiques négligeables. Les garde-corps se fondent dans la structure métallique, servent de protection antichute et sont tendus de stores en tissu pour protéger des regards. Les murs coupe-feu mitoyens sont – à l'exception du penthouse – bétonnés et, là où c'était nécessaire, isolés par l'intérieur. De cette façon, les déperditions thermiques ont pu être évitées des deux côtés. Dans la cave, dans le penthouse et en toiture, l'isolation extérieure atteint 30 cm d'épaisseur. La toiture plate comprend une dalle en béton et une isolation thermique de 32 cm en mousse rigide. Elle supporte en outre les installations solaires. Le radier de 55 cm supportant le bâtiment principal est également isolé de l'intérieur (24 cm) pour des raisons de charge tandis que la dalle de 20 cm sous la terrasse a été coulée sur 20 cm d'isolant.

Pour l'aménagement intérieur, la plupart des matériaux employés ont soit été laissés bruts comme les murs ou les plafonds et les éléments préfabriqués des escaliers, soit très légèrement traités – comme le parquet en bois industriel laqué et les étagères encastrées en contreplaqué des bureaux.



9

- 7 Vue d'un bureau  
8 Détail, sans échelle  
9 Façade est sur cour. Les balcons métalliques sont suspendus à la toiture. Puits de lumière servant de table

## **Construction de logements sociaux énergétiquement efficaces : immeuble d'habitation à Madrid**

**Architecte :**  
Guillermo Yáñez, Madrid



1

### **Informations sur le projet:**

Livraison : 2004

SHON :

Logements 3 939 m<sup>2</sup>

Commerces 251 m<sup>2</sup>

SHOB : 6 420 m<sup>2</sup>

Volume du bâtiment :

15 740 m<sup>3</sup>

Consommation d'énergie pour le chauffage :

62,52 kWh/m<sup>2</sup>/an

Coefficient U toiture plate :

0,32 W/m<sup>2</sup>.K

Coefficient U mur :

0,43/0,58/0,77 W/m<sup>2</sup>.K

selon l'orientation, sans l'effet tampon des avancées vitrées

Coefficient U fenêtre :

2,18 W/m<sup>2</sup>.K

Coefficient U plancher :

0,45 W/m<sup>2</sup>.K

Le projet de logement social à San Fermín, un secteur en expansion de la périphérie de Madrid, a remporté en 1999 le concours de la Empresa Municipal de la Vivienda (Office municipal de l'habitat) pour un des trois bâtiments avec la mention « Logement social énergétiquement efficace ». Ce projet devait respecter les normes bioclimatiques appliquées au logement incluant l'utilisation intégrée, active et passive de l'énergie solaire. En dépit de subventions de l'UE pour couvrir les dépenses supplémentaires liées aux contraintes écologiques et énergétiques, un coût limité et un certificat de fonctionnement économique du système solaire devaient souligner le caractère exemplaire du projet.

Le bâtiment reprend la forme en U imposée par un tissu urbain très dense avec deux ailes nord-sud parallèles et une façade est-ouest.

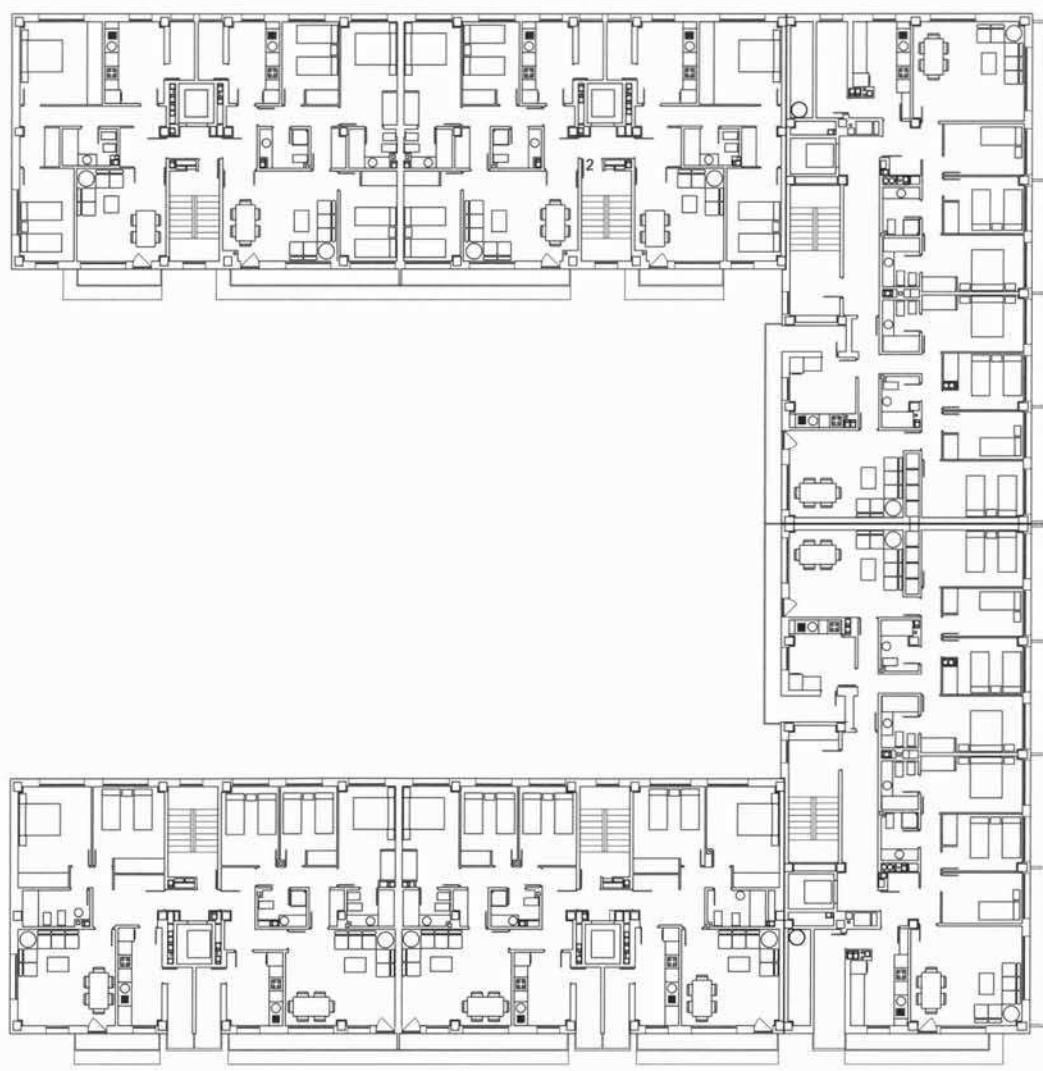
Le bâtiment en forme d'ilot est complété à l'ouest par une barre plus haute qui protège l'ensemble, et surtout la cour intérieure, du bruit de la rue principale à 6 voies.

Le parking en demi-sous-sol est naturellement ventilé par une ouverture zénithale dans la cour. En raison de la pente naturelle du terrain, des surfaces commerciales donnant sur la rue ont pu être prévues dans sa partie est. Sur ce sous-bassement, le bâtiment de trois étages, avec un attique en retrait, comprend au total 54 logements.

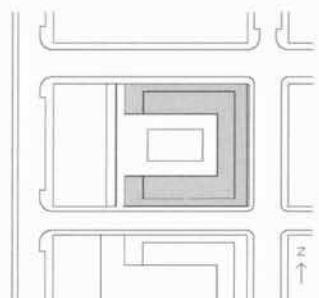
Outre l'utilisation de l'énergie solaire en hiver, il était indispensable de prévoir pour les étés chauds de Madrid une protection solaire et une ventilation naturelle, essentielle dans la conception et la réalisation du projet. Ces deux objectifs expliquent certains choix constructifs et la répartition des logements.



2



3



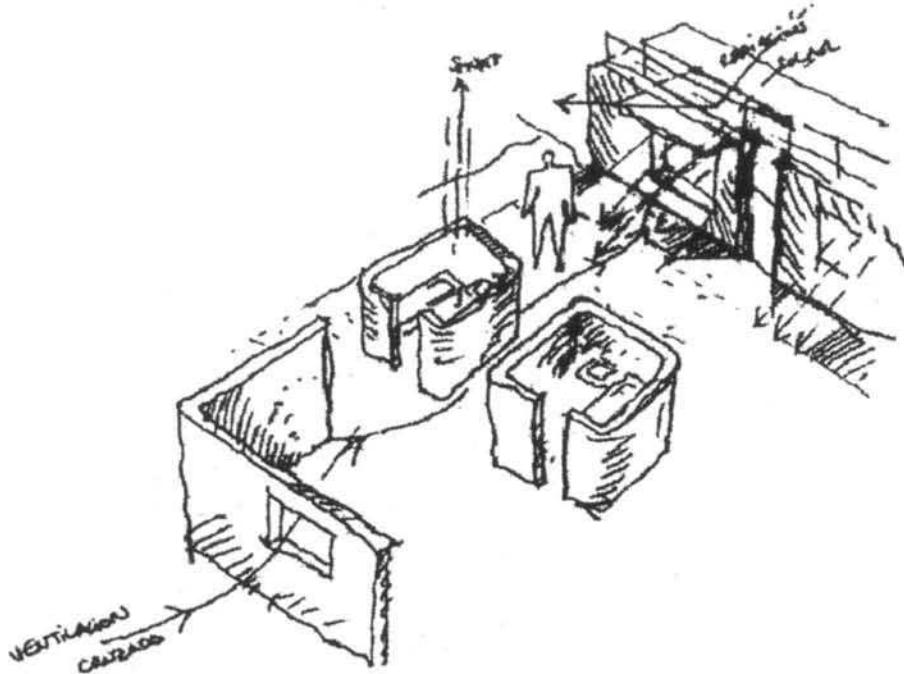
4

1 Vue aérienne. La grande densité de population est le signe d'un tissu de centre-ville.

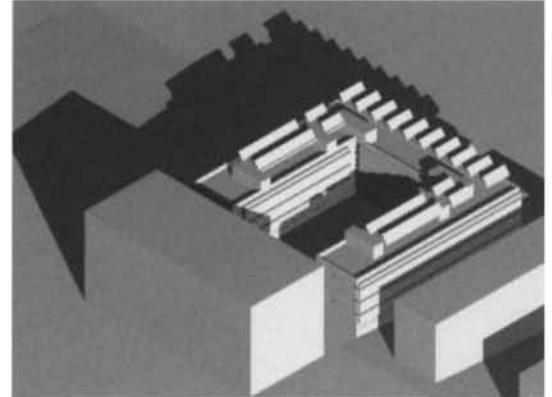
2 Coupe: vue depuis le sud (cour)

3 Plan de l'étage, sans échelle

4 Plan de masse avec les environs, sans échelle



5



7

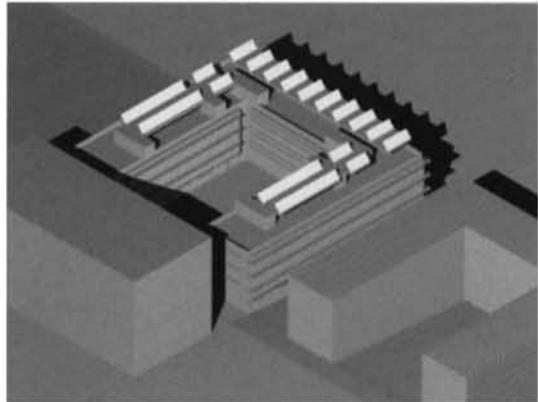
Les logements sont traversants pour favoriser la ventilation naturelle. Les trois côtés du bâtiment en U présentent des dispositions différentes selon l'orientation : les séjours sont toujours à l'ouest ou au sud alors que les chambres sont au nord ou à l'est.

Le regroupement des gaines au centre des logements autorise une plus grande profondeur. Cet emplacement permet de raccourcir les distances des réseaux d'approvisionnement et d'évacuation. Le juste dimensionnement des ouvertures et le système de captation et de protection solaire empêchent la monotonie des façades car ils varient selon l'orientation, la situation et les conditions d'ensoleillement et d'ombre portée. Ces variations animent ce bâtiment plutôt sévère et mettent en valeur les dispositifs bioclimatiques.

La cour intérieure s'orne de plantes régionales qui améliorent le microclimat, surtout en été. Leur arrosage l'après-midi rafraîchit aussi l'air extérieur grâce à l'évaporation. Cette mesure joue un rôle essentiel dans la climatisation naturelle estivale : elle renforce la ventilation transversale voulue pour tous les logements et la convection par les cheminées solaires.



6



8

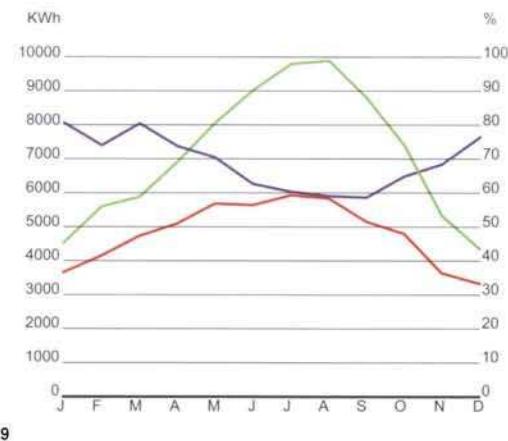
Pour les logements est-ouest, le noyau central comprend des gaines d'aération verticales. Par l'effet Venturi, l'air des pièces principales est aspiré en toiture. À l'inverse, de l'air plus frais est capté dans la cour intérieure et évacué par les fenêtres.

On a pu évaluer que le cumul de toutes ces mesures a permis une réduction de plus de 40% de la consommation d'énergie et de 50% des émissions de dioxyde de carbone par rapport à des bâtiments traditionnels et selon les normes en vigueur.

Le chauffage est assuré par une chaudière à gaz modulaire. La distribution s'effectue par l'intermédiaire de radiateurs thermostatiques courants réglables pour chaque logement. Le fonctionnement du chauffage est contrôlé et régulé à distance.

Des boîtiers répartiteurs équipés de compteurs se trouvent dans les gaines palières près de l'entrée des logements. La lecture et le calcul des consommations individuelles peuvent se faire depuis l'extérieur.

Une seconde chaudière, également au gaz, sert à la production d'eau chaude sanitaire, et une installation solaire de 24 panneaux de 2,5m<sup>2</sup> chacun vient en complément. Les capteurs solaires placés sur la toiture plate sont orientés au sud selon un angle de 40°. L'installation couvre environ 70% des besoins en eau chaude et devrait être amortie en 9,5 à 12,4ans, suivant l'évolution des sources d'énergie traditionnelles. Sa contribution énergétique entraîne une diminution des émissions annuelles de dioxyde de carbone de près de 13 tonnes.



9

5 Schéma de fonctionnement de la ventilation transversale

6 Façade sud sur cour avec les balcons vitrés en saillie et les pare-soleil (fixes)

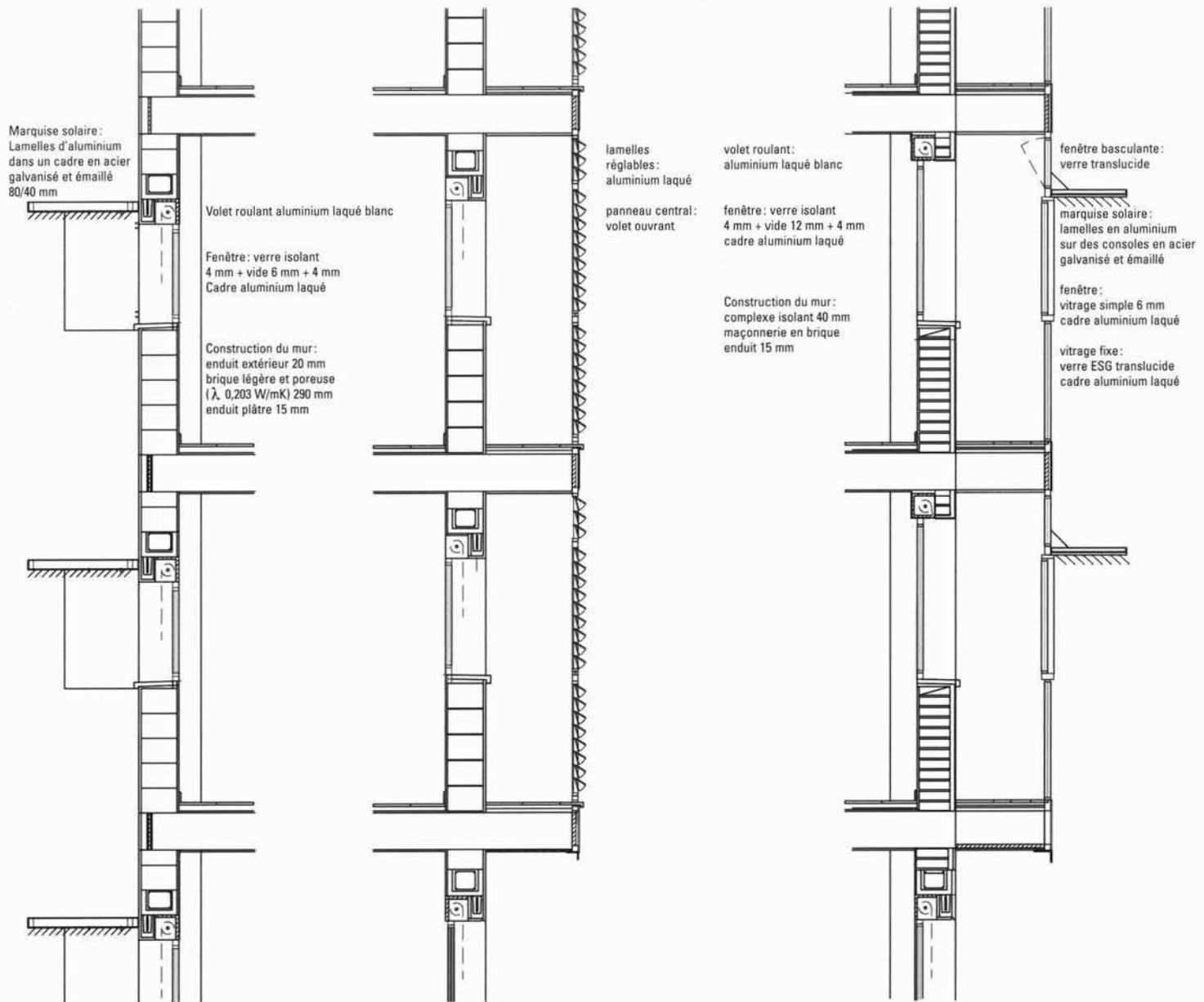
7-8 Études d'ensoleillement et d'ombres portées

9 Part de production des collecteurs solaires (kWh, rouge), besoins en eau chaude sanitaire (kWh, bleu) et part assurée en moyenne (en pourcentage, vert)

10 Vue de la toiture et des panneaux solaires; protection solaire de la façade ouest (cour intérieure) avec des volets équipés de lamelles réglables

10

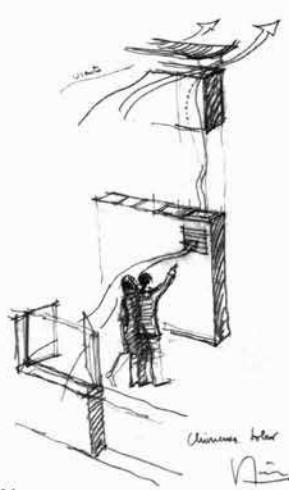




11

12

13



14

11 Coupe détaillée de la façade est

12 Coupe détaillée de la façade ouest

13 Coupe détaillée de la façade sud

14 Schéma de fonctionnement de la ventilation avec les cheminées solaires

Comme les ouvertures, les murs extérieurs diffèrent en fonction de leur orientation. Sur les façades est et ouest, ils sont constitués d'une seule paroi en brique légère, poreuse et isolante. Au sud et sur les façades assez fermées du nord, ils reçoivent en plus une isolation thermique extérieure. Dans un premier temps, l'effet tampon des balcons vitrés n'a pas été pris en compte dans les calculs énergétiques.

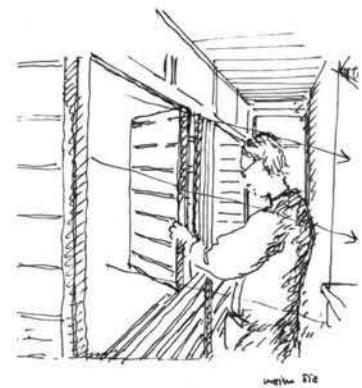
À l'intérieur, planchers et murs massifs assurent l'inertie thermique nécessaire à l'effacement des pics estivaux de température. Toutes les ouvertures ont des dispositifs de protection solaire adaptés à l'orientation et dimensionnés en conséquence. Ils permettent aux rayons du soleil de pénétrer quand il le faut ou d'être arrêtés au moment des chaleurs estivales. On veillera bien sûr à ce que les pare-soleil n'entravent pas la ventilation naturelle.

Les allèges des balcons orientés au sud sont constituées de panneaux vitrés translucides servant de pare-soleil. Des lamelles horizontales assurent la protection solaire d'été pour cette orientation.

Aux périodes chaudes de l'année, des volets pliants à lamelles horizontales réglables protègent les balcons orientés à l'ouest des rayons bas du soleil du soir. Les chambres situées au nord et à l'est ont de petites ouvertures – celles à l'est sont équipées d'une combinaison de pare-soleil fixes horizontaux et verticaux. Tous ces dispositifs nécessitent peu d'entretien et sont faciles à utiliser. Les risques de fausse manœuvre sont donc négligeables.



15



17



15 Façade ouest sur la cour intérieure; protection solaire assurée par des volets à lamelles réglables

16 Façade est sur rue; ouvertures plus étroites combinées avec des pare-soleil horizontaux et verticaux

17 Croquis explicitant les dispositifs de protection solaire prévus devant les balcons de la façade ouest (cour intérieure)

## Requalification d'une friche industrielle: campus universitaire à Nottingham

Architectes:  
Hopkins Architects, Londres



1

### Informations sur le projet:

Livraison: 1999  
SHON: 37 050 m<sup>2</sup>

Consommation énergétique: 85 kWh/m<sup>2</sup>/an

Coefficient U toiture: 0,22 W/m<sup>2</sup>.K

Coefficient U mur extérieur: 0,287 W/m<sup>2</sup>.K

Coefficient U plancher RDC sur terre-plein: 0,393 W/m<sup>2</sup>.K

Coefficient U fenêtre: 2,4 W/m<sup>2</sup>.K

En 1996, l'université de Nottingham a organisé un concours d'architecture pour la construction d'un nouveau campus sur un site occupé auparavant par une usine de bicyclettes. Le programme prévu pour 2500 étudiants comprenait un centre de recherche et d'études sur les médias, un bâtiment avec un amphithéâtre, trois facultés, un restaurant universitaire et les logements nécessaires. Le projet devait servir de modèle pour un développement urbain durable et pour la requalification d'une friche industrielle. La liaison avec un quartier d'habitation de banlieue devait aussi être prise en compte.

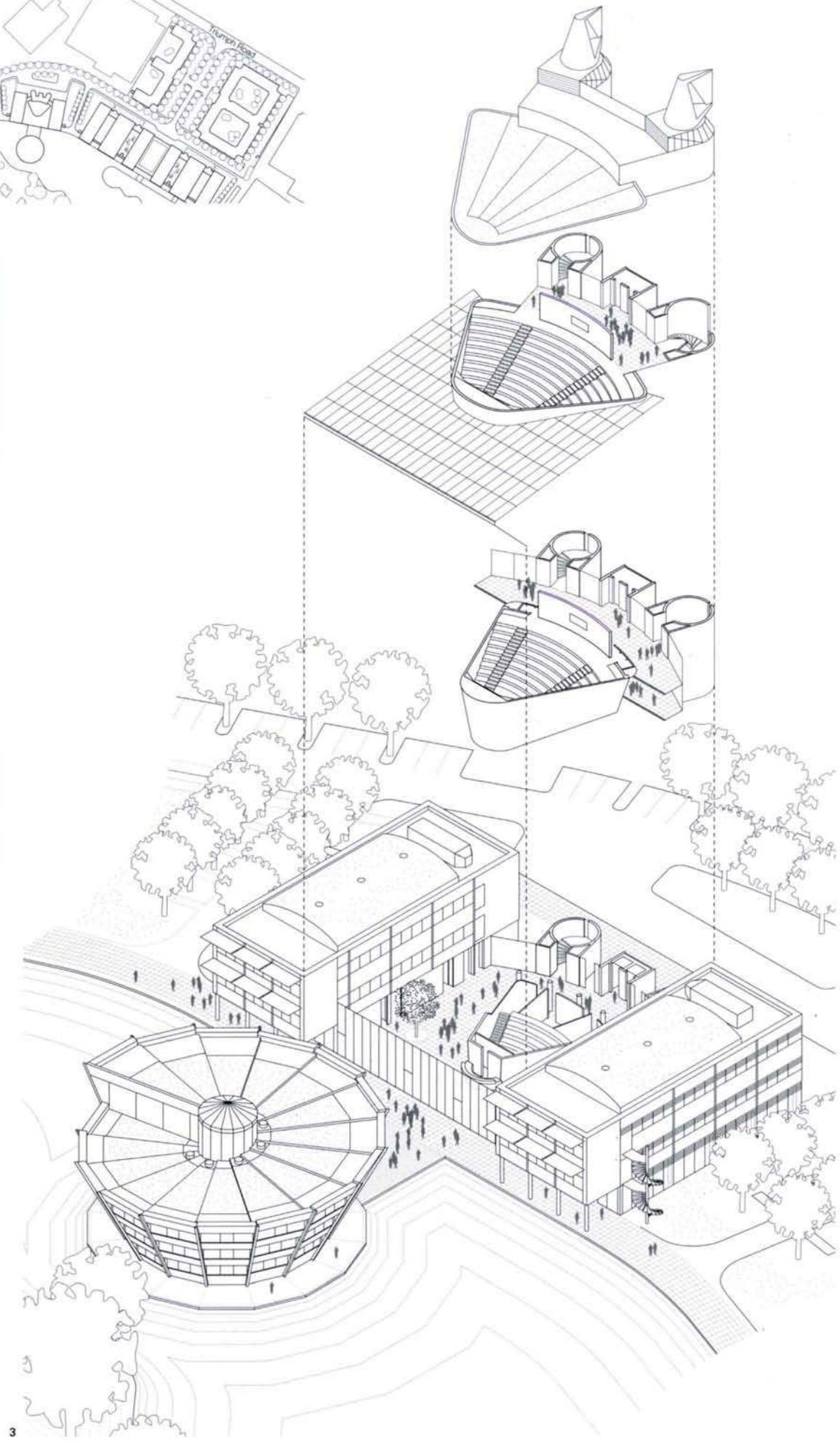
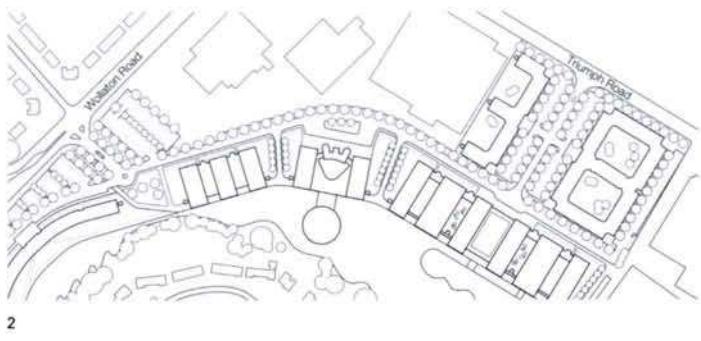
sins. Cette nouvelle ceinture verte a été conçue pour répondre à deux objectifs: permettre une desserte piétonne et faciliter l'orientation sur le site. L'équipe souhaitait pour ce nouvel ensemble un cadre agréable propice à la sérénité et une amélioration de l'environnement immédiat.

Le centre de recherche et d'études sur les médias constitue l'élément visuel central du projet. Par son caractère atypique, le cône polygonal confère au nouveau campus son indispensable identité. Le programme comprend en outre une bibliothèque et un laboratoire informatique central accessible en permanence aux étudiants. Les niveaux s'échelonnent tout au long d'une rampe ascendante en spirale dont le noyau comprend l'ascenseur et la cage d'escalier. Les cloisons de séparation entre la bibliothèque et la salle informatique peuvent être déplacées en fonction des besoins. Le bâtiment central avec l'amphithéâtre se trouve juste en face.

1 Vue sur le centre du campus avec le centre de recherche et d'études sur les médias et le bâtiment de l'amphithéâtre

2 Plan de masse, sans échelle

3 Isométrie montrant le centre de recherche et d'études sur les médias avec le bâtiment de l'amphithéâtre

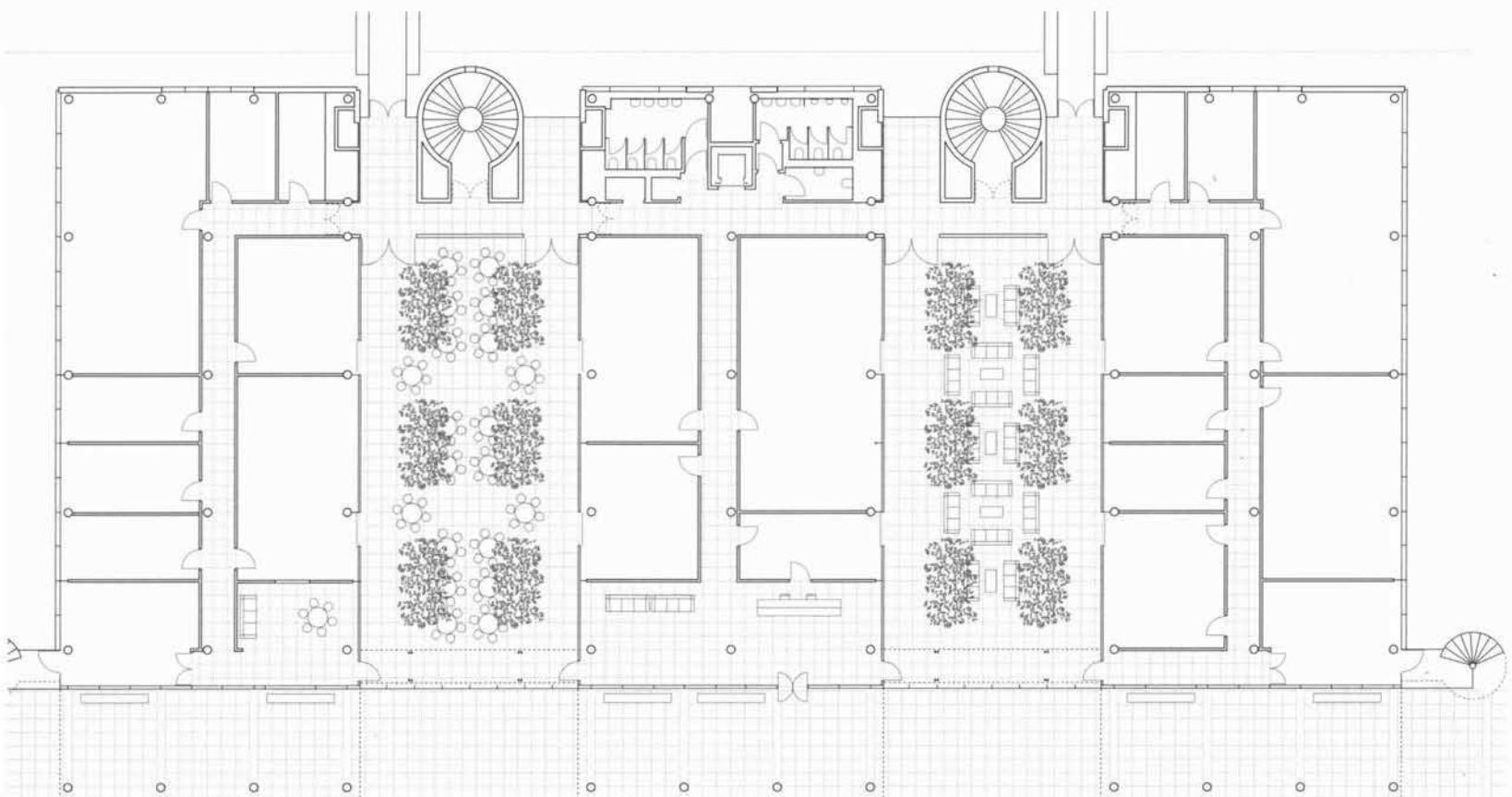
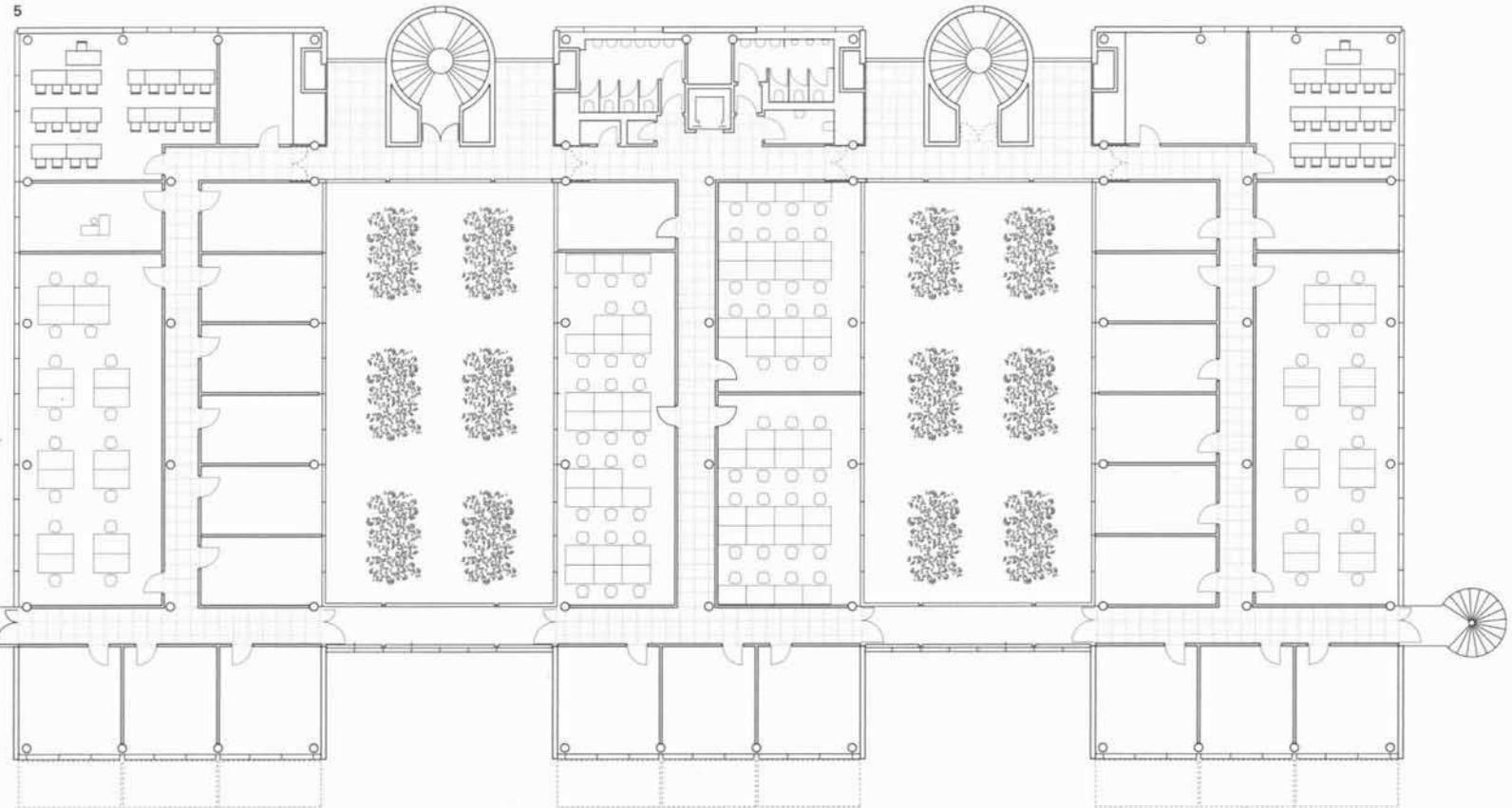


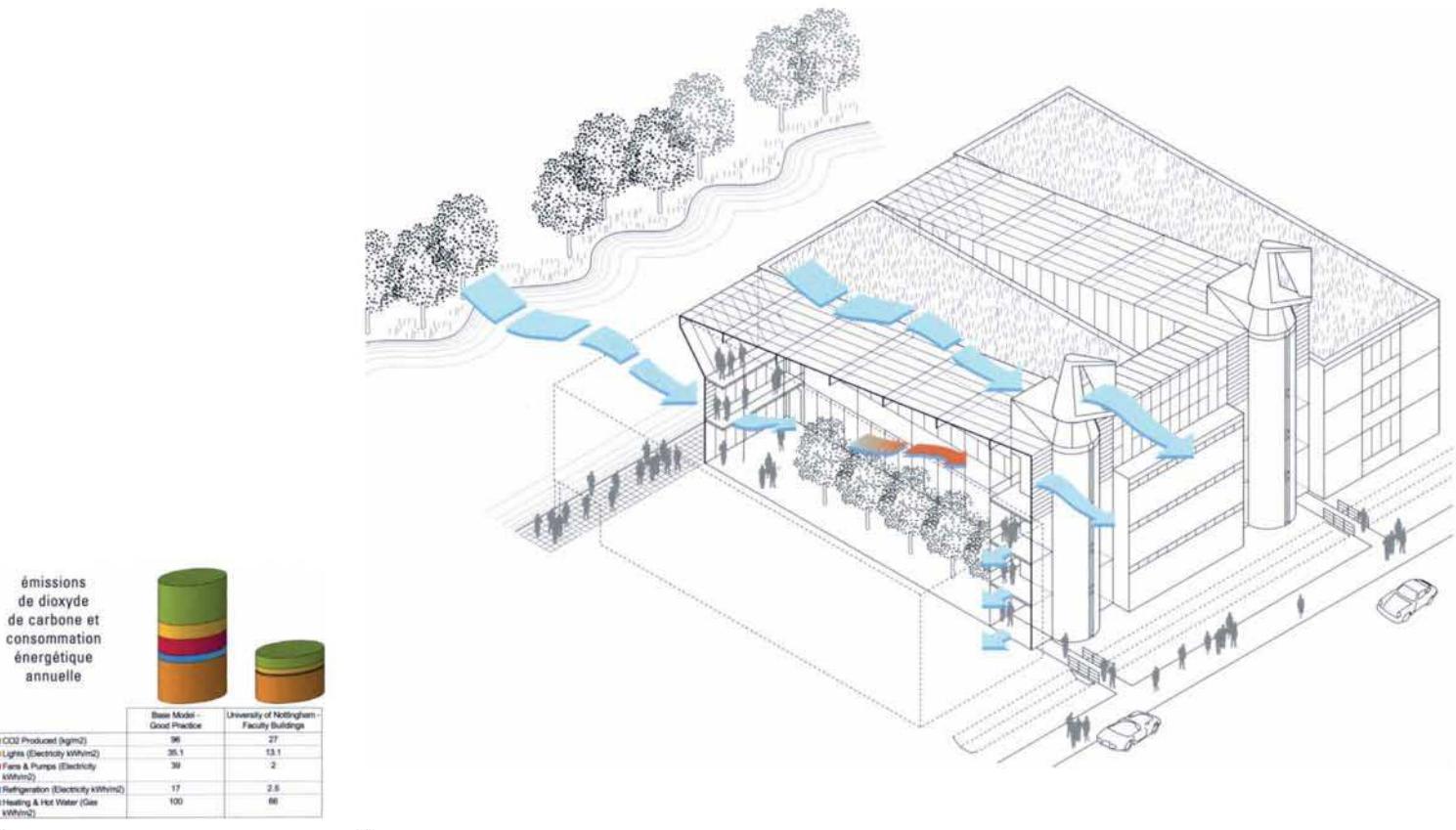


4 Vue de l'atrium de la  
faculté des sciences de  
l'éducation

5 Plans RDC et étage du  
bâtiment de la faculté,  
sans échelle

5





6

7

6 Comparaison entre les consommations relevées et celles d'autres instituts semblables en Grande-Bretagne

7 Schéma de ventilation du bâtiment de la faculté: amenée d'air frais depuis le parc et extraction par les tours de ventilation surmontées de têtes pivotantes.

8 (page suivante) Façade (détail) de la faculté avec la tour de ventilation: bardage en cèdre canadien, acier galvanisé à chaud et béton apparent sont les seuls matériaux: ils donnent une image modeste mais avenante du bâtiment.

9 (page 86) Vue de nuit du campus avec le bâtiment de l'amphithéâtre.

Les trois bâtiments des facultés ont un système de ventilation à basse énergie. La combinaison de bureaux individuels et de salles de cours avec les vastes atriums participe au principe de ventilation choisi. Une seule alternative se présente: le recours à la seule ventilation naturelle ou un système de ventilation mécanique à basse pression avec récupérateur de chaleur. Le réglage de précision s'effectue au cours de la première année d'exploitation. Pour réduire l'énergie liée à l'acheminement de l'air, les sections des couloirs et des cages d'escalier ont été prévues en conséquence: plus celles-ci sont importantes, moins on consommera d'énergie pour les ventilateurs. L'électricité utilisée par ces derniers provient en totalité des cellules photovoltaïques intégrées dans le vitrage des toitures des atriums. Les 450 m<sup>2</sup> installés suffisent pour fournir chaque année les 51 240 kWh nécessaires. En été, ces panneaux contribuent aussi à créer de l'ombre.

Pendant les jours couverts, l'éclairage nécessaire dans les atriums et les salles de

cours est presque assuré. En fonction de la présence de personnes et de l'intensité lumineuse du moment, l'éclairage artificiel est modulé par un système intelligent de détecteurs infrarouges.

Comme pour certains bâtiments passifs ayant un système de contrôle, la consommation dépend surtout du comportement des usagers. Le personnel enseignant et les étudiants sont informés sur la manière d'utiliser le système de ventilation. D'autres parties du campus sont également concernées par les aspects liés à l'énergie. Ainsi, les 22 000 m<sup>3</sup> de déblais de terre ont été utilisés pour modeler le terrain. Le choix des plantations a été guidé par la nature du sol; les toitures plates sont recouvertes d'une végétation extensive. Les eaux de ruissellement sont collectées et amenées dans le plan d'eau. On a pu établir que cette conception réfléchie a permis de réduire les émissions en dioxyde de carbone de 2 556 tonnes par an.





**CONCEPTION DE BÂTIMENTS  
ÉNERGÉTIQUEMENT EFFICACES :  
PRINCIPES ET MESURES**

# CONCEPTION DE BÂTIMENTS ÉNERGÉTIQUEMENT EFFICACES : PRINCIPES ET MESURES

1 Commerzbank, Francfort,  
Sir Norman Foster, 1997.  
Tour mettant en œuvre  
des mesures d'économie  
d'énergie

1



## Situation de départ et perspectives

Il va sans dire que la conception d'une architecture climatique est née en même temps que l'architecture elle-même. Une des raisons de l'apparition de l'habitat humain est le besoin de lutter contre des conditions climatiques extrêmes pour rendre la vie possible dans des régions non tropicales.

Pratiquement jusqu'à la moitié du 19<sup>e</sup> siècle, les données climatiques et énergétiques ont été prises en compte tout naturellement, au même titre que les aspects plastiques et constructifs de l'architecture. L'évolution rapide du génie climatique a « libéré » les architectes de ces contraintes et les a amenés à se concentrer sur les aspects structurels et formels. L'architecture s'est ainsi petit à petit éloignée de la nature, ce qui explique l'utilisation irresponsable des ressources énergétiques. On ne peut bien entendu pas continuer dans cette voie sous peine d'entraîner des conséquences catastrophiques du point de vue écologique.

Les bâtiments qui sont construits aujourd'hui devront être encore utilisés dans 30 ou 40 ans, quand la situation énergétique sera encore plus critique. Pour évaluer les étroites relations qui unissent l'Homme, le climat et l'architecture, on a construit divers « bâtiments solaires », projets pilotes pour lesquels le comportement énergétique des bâtiments et l'influence des mesures relatives à l'utilisation de l'énergie solaire étaient les principaux facteurs examinés. Des modèles de calcul simplifiés développés pour l'utilisation sur les ordinateurs personnels permettent une approche quantitative. L'objectif essentiel de ce travail ne consistait pas à optimiser ces systèmes sur le plan énergétique, mais à faire de ces mesures d'économie et de captage d'énergie des éléments concrets à intégrer à la conception architecturale. L'influence de ces mesures sur la conception des volumes et des façades, sur l'utilisation du bâtiment lui-même, l'interaction entre le concept d'énergie solaire et les habitudes (d'habitat) des utilisateurs ont été étudiées avec une grande attention. Après tout, il ne s'agit pas uniquement d'économiser de l'énergie mais, en incluant les rayonnements solaires dans le projet, d'améliorer la qualité de vie offerte par un bâtiment.

Au fil des ans, des principes de conception de plus en plus précis et sûrs ont été définis pour prendre en compte l'utilisation passive de l'énergie solaire. Dans le même temps, cette évolution a permis d'écartier les réserves et les inconvénients liés à ces mesures d'économie d'énergie et a mis en évidence la responsabilité des concepteurs. Au regard de la situation écologique et des possibilités constructives et techniques, une architecture énergétiquement efficace est devenue une obligation éthique. La conscience plus forte des maîtres d'ouvrage de la nécessité d'économiser l'énergie a aussi été déterminante dans cette évolution. La construction énergétiquement efficace pouvait dès lors s'imposer sur la scène de l'architecture mondiale. Des architectes renommés en ont fait le cœur de leur œuvre – d'où un effet amplificateur évident.

Ainsi, les bâtiments à basse énergie ont été acceptés comme standard commun du point de vue économique. La législation (par exemple les prescriptions relatives aux économies d'énergie) a imposé cette norme. L'objectif suivant est désormais la maison passive. Ces derniers temps, les programmes d'incitations financières et de subventions pour la construction économique en énergie ont été adaptés en conséquence. Le Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) a, par exemple, élevé ses exigences pour les aides destinées aux maisons à basse énergie au niveau de celles des maisons passives. De la même façon que 10 ans auparavant, pour les maisons à basse énergie, les définitions, la technique de construction, les matériaux ainsi que les limites et les possibilités de ce nouveau standard sont activement débattus. Une définition plus claire des enjeux et la simplification des méthodes d'appréciation permettent toutefois aux architectes d'aborder cette problématique avec plus de facilité. Les règles fondamentales de conception d'une maison passive sont claires. À l'inverse des maisons à basse énergie pour lesquelles des écarts par rapport à une conception économique en énergie peuvent être compensés par des dispositifs techniques ou par une isolation thermique renforcée, une enveloppe compacte est, dans le cas présent, impérative. On exige de l'architecture une forme optimisée et une discipline rigoureuse. On peut

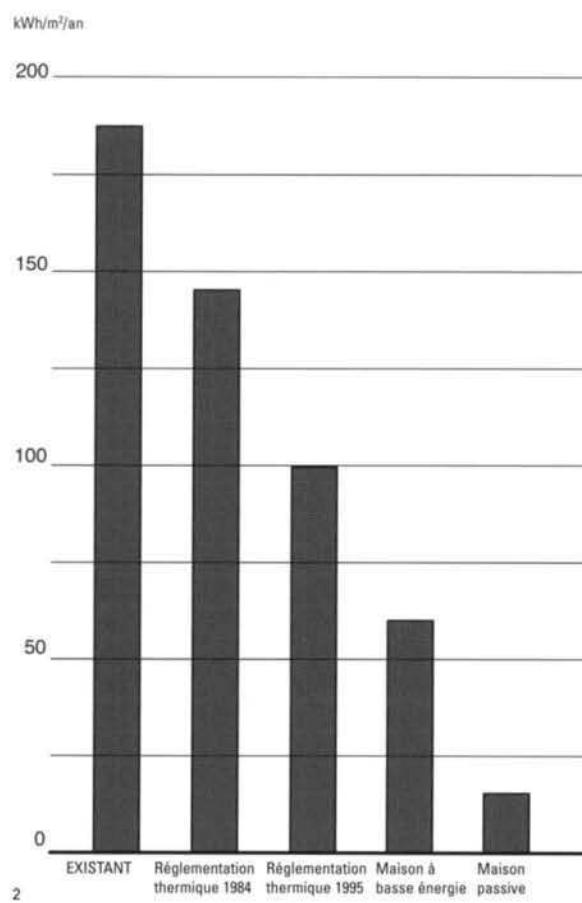
à ce sujet se demander si cela doit être vu comme une limite à la créativité ou bien comme une vertu conceptuelle et formelle.

La démarche visant à faire des économies d'énergie commence par la décision de construire ou non et se poursuit par la question de savoir avec quoi; le problème du comment ne vient qu'ensuite. Ce dernier point fait déjà l'objet d'une littérature très complète, de méthodes de conception et d'un ensemble de règles et de solutions techniques qui permettent d'aborder la plupart des cas rencontrés. Les deux premières questions recèlent pourtant le plus grand potentiel d'économies. Ce qui n'a pas été pris en considération au début de la réflexion ne peut par la suite être compensé qu'à grand renfort de moyens énergétiques coûteux. « La difficulté n'est pas de réaliser des choses, mais de réunir les conditions grâce auxquelles on peut renoncer à ces choses. » (1) Les choses que l'on construit (mal, le cas échéant) devraient en fait s'apprécier selon leur valeur d'usage, qui est leur seule raison d'exister. La durabilité présuppose la nécessité; elle n'a rien de gratuit ou d'arbitraire. Une conception énergétiquement efficace ne peut donc se réduire à un parti formel basé sur la compacité ou sur l'emploi de certains matériaux et technologies. Au contraire, elle intègre aussi toutes les étapes et domaines du processus de conception. Étant donné qu'il faut fixer des priorités pour chaque phase, il importe de définir précisément l'objectif en amont.

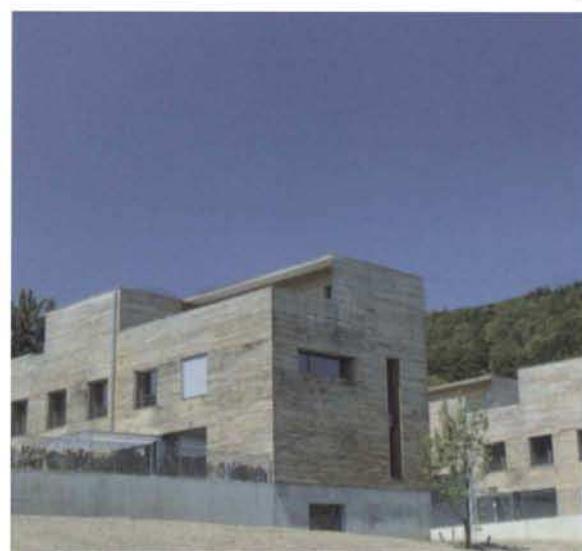
### Construction de logements énergétiquement efficaces

L'édification d'immeubles est un champ d'activité tout désigné pour développer de nouveaux types de construction durable. Le rôle d'un bâtiment d'habitation est d'abriter des gens. Protégé des excès et des désagréments du climat, le logement doit permettre à son occupant de s'épanouir.

Pourtant, la pénurie d'appartements et la spéculation qui s'ensuit conduisent souvent à une remise en cause de la qualité au profit d'une augmentation quantitative. Cette évolution explique d'ailleurs pourquoi les propriétés



2



3

2 Besoins annuels en chauffage dans l'existant selon les normes en vigueur

3 Ensemble d'habitation, Kriens, Suisse, Lischer, 2001 (voir aussi p. 44). Bâtiments compacts pour minimiser les déperditions thermiques par transmission

(1) Constantin Brancusi (1876-1957)



4

4 Lotissement Halen près de Berne, Atelier 5, 1955-1961. Des rangées de maisons étroites et profondes avec une ou deux pièces dans la largeur

5 Lotissement à Passau-Neustift, H. Schröder et S. Widmann, 1989. Des rangées de maisons étroites et profondes avec une pièce dans la largeur

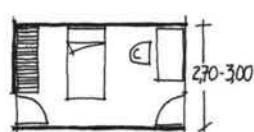
6 Différents plans possibles avec les proportions des pièces



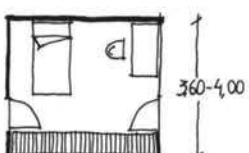
5



SIEDLUNG HALEN  
BERN, ATELIER 5



SIEDLUNG RÖTHENBACH  
METRON AG



SIEDLUNG PASSAU  
SCHRÖDER-WIDMANN

6

physiques de la construction de logements – aspects essentiels d'adaptation au climat – sont souvent négligés.

Une architecture énergétiquement efficace suppose un bon équilibre entre les mesures en faveur des économies d'énergie et celles mises en œuvre pour la produire. Les premières concernent surtout la compacité et une bonne enveloppe isolante alors que l'utilisation passive de l'énergie solaire relève des secondes. En matière de conception, ce sont surtout les proportions d'un bâtiment et son orientation qui sont concernées.

#### *La pièce*

Le développement de ces facteurs dépend de la typologie du bâtiment. Au moment de l'analyse des typologies, on examine en premier lieu l'unité de base d'un bâtiment: le bureau pour un immeuble de bureaux, la salle de classe pour une école, etc. Les principes d'organisation dérivent de cette unité de base. Dans le cas du logement, la pièce représente cette unité. Du point de vue énergétique, les proportions d'une pièce et le rapport entre sa profondeur et la façade sont importants.

Pour le bilan énergétique d'un bâtiment, les pièces étroites et profondes sont plus favorables. Dans le cas d'une façade très vitrée, cela permet d'augmenter l'exploitation de l'ensoleillement. Pour une même largeur de bâtiment, des pièces étroites permettent de prévoir plusieurs pièces au sud et une meilleure exploitation de cette exposition.

Les proportions des pièces devraient cependant être définies en fonction de leur usage et des possibilités d'ameublement. À cet égard, les pièces larges sont préférables car elles autorisent plusieurs variantes d'ameublement et utilisations. Sur le long terme, les pièces polyvalentes facilitent l'adaptation d'un bâtiment à l'évolution des structures familiales et sociales.

En fait, cette flexibilité a aussi des conséquences sur le plan énergétique. La durée de vie d'un bâtiment sera prolongée par une utilisation maximale des surfaces habitables. Les mesures de rénovation et de restructuration pourront alors être évitées ou, si nécessaire, simplifiées et mises en œuvre avec un coût énergétique réduit.



7

### *Proportions du bâtiment*

Si l'on examine par exemple les proportions d'une bande de maisons orientées au sud pour en évaluer la compacité, on devra considérer la largeur, la profondeur des logements, mais aussi la hauteur des bâtiments.

La largeur d'une maison en bande dépend en grande partie du nombre de chambres et de séjours mais aussi de la disposition des pièces secondaires et du principe de distribution intérieure. Avec une à trois pièces contiguës, on obtient des largeurs de maison comprises entre 4 et 9 m.

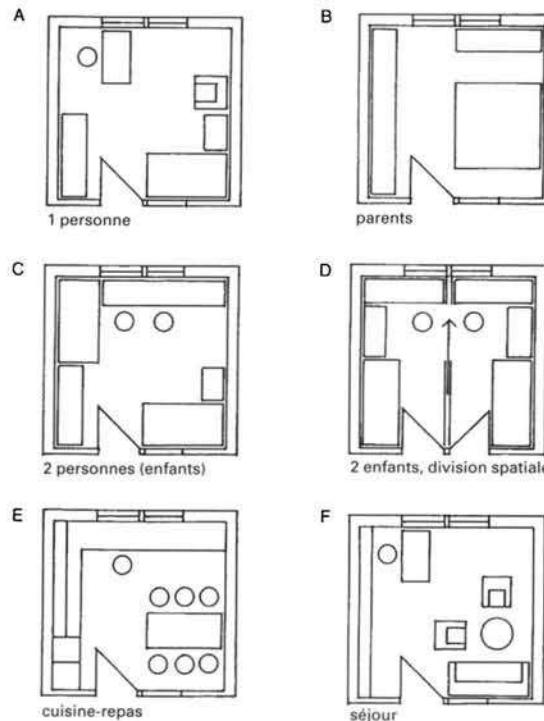
La profondeur d'un bâtiment est fonction des séjours qui peuvent être à simple ou double orientation. Il en résulte plusieurs possibilités:

- séjours au sud – pièces secondaires et distribution au nord: c'est la disposition classique des bâtiments solaires. Cela ne permet toutefois qu'une profondeur limitée.
- séjours au sud – distribution au centre – pièces secondaires et séjours au nord: dans ce cas, le bâtiment est plus profond. Pour pouvoir profiter de l'orientation au sud, les espaces situés au sud devraient être plus profonds que ceux du nord.
- séjours au sud – distribution et pièces secondaires au centre – séjours au nord: les bâtiments peuvent alors être très profonds. Le nombre de pièces orientées au sud ou au nord est identique.

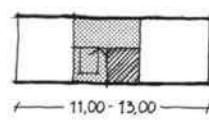
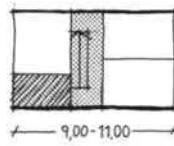
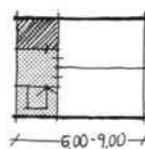
La disposition avec des séjours à une seule orientation convient aux bandes de petites maisons à trois ou quatre pièces. Dans le cas de logements plus importants, la maison sera soit trop large, et donc moins compacte, soit il faudrait prévoir plus de deux niveaux.

À l'inverse, pour une disposition traversante à deux niveaux, on aura de grands logements avec déjà quatre à six pièces. Un étage supplémentaire entraîne soit des unités très importantes (éventuellement avec un logement indépendant annexe) soit oblige à réduire fortement la largeur de la maison (d'une pièce) et donc celle du jardin attenant.

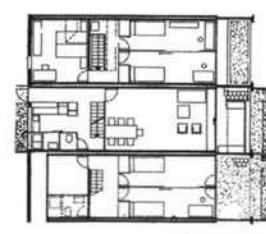
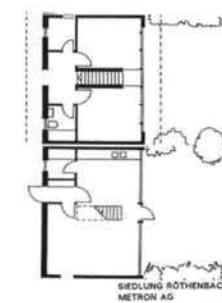
En décalant les niveaux (demi-niveaux) ou en jouant avec la forme du toit, il est possible de profiter des différences ainsi obtenues pour placer davantage de pièces au sud. Dans les



8



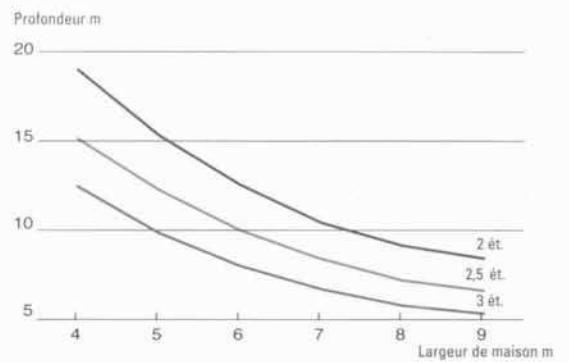
9



7 Lotissement Röthenbach  
a.d. Pegnitz-Steinberg,  
Metron Architektur,  
1990. Maisons en bande  
larges et peu profondes  
avec deux pièces dans  
la largeur

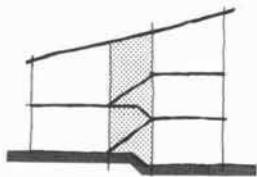
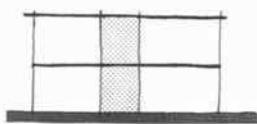
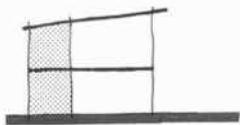
8 Espaces centraux  
polyvalents. Variantes  
d'ameublement (extrait  
de: Peter Faller: «Der  
Wohngrundriss 1920-  
1990» (Les Plans de  
logement 1920-1990),  
Stuttgart 2002)

9 Profondeur de bâtiment  
– répartition des diffé-  
rents espaces

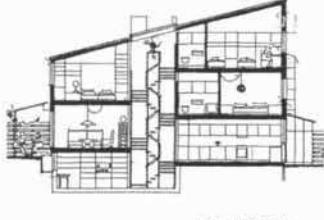
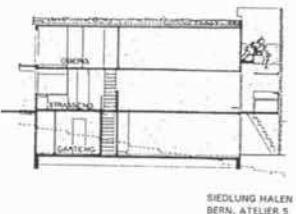
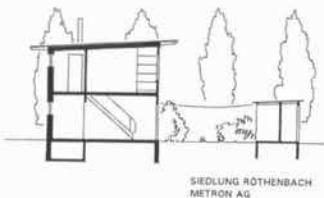


11

10 Modification de la hauteur

11 Influence de la largeur et du nombre d'étages d'une maison en bande (pour un espace central d'une même surface brute de 150 m<sup>2</sup>) sur la profondeur

10



cas d'unités à 2 1/2 ou 3 niveaux, l'organisation des logements en demi-niveaux apporte une plus grande fluidité dans la distribution des différents espaces. De même, des plans profonds pourront être de la sorte mieux structurés.

Une toiture à un versant permettra d'agrandir la partie située au sud, de réduire au nord les parties à l'ombre et, par conséquent, la distance entre les bandes de maisons. Sur le plan formel, cette succession de toits à un seul versant avec des espaces intermédiaires limités par les façades de hauteurs variables, réclame un dessin très rigoureux.

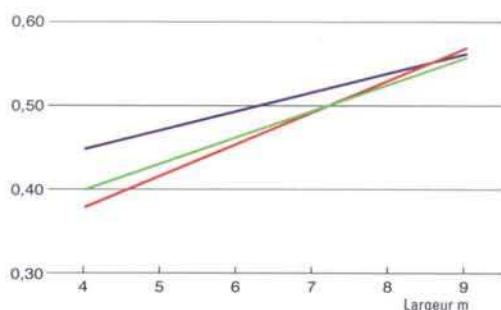
Si, de manière idéale avec des surfaces identiques, on fait varier les hauteur, largeur et profondeur du centre d'une bande de maisons, alors on peut examiner les relations qui existent entre ces paramètres (voir ill. 11-12). Pour des largeurs de maison croissantes, les hauteurs ont une influence décisive sur la profondeur résultante. Pour des maisons très étroites, un faible nombre de niveaux entraîne une profondeur presque irréalisable. Pour les maisons très larges, c'est possible.

Si l'on calcule, pour des largeurs croissantes, le rapport surface/volume, le nombre de niveaux joue un rôle bien moins important. La largeur de la maison est par contre déterminante. Des maisons larges ont un rapport surface/volume moitié plus important que celui de maisons étroites. Cela signifie aussi des déperditions thermiques supérieures de 50% pour une construction identique ou, autrement dit, la nécessité de prévoir d'importantes épaisseurs d'isolation thermique pour arriver au même niveau de déperdition de chaleur par transmission. De plus, une enveloppe augmentée de 50% suppose des coûts supérieurs et surtout une consommation d'énergie primaire plus importante pour la construction. Entraînant une plus grande compacité, les largeurs réduites permettront à un nombre plus important d'unités l'accès direct à un espace extérieur – même étroit. Les espaces extérieurs de desserte, les équipements d'approvisionnement et d'évacuation seront aussi réduits.

À l'instar de cet exemple, il est possible d'étudier l'évolution de ces rapports pour d'autres typologies de logements.

#### *Orientation d'un bâtiment*

L'étude de l'orientation d'un bâtiment est instructive si on la mène par rapport aux points cardinaux. L'enseignement classique de l'architecture solaire précise que, pour les bâtiments orientés nord-sud, les pièces principales doivent être au sud et les secondaires au nord. Cela entraîne une faible profondeur de bâtiment et, par conséquent, une faible compacité tout en



12

optimisant l'utilisation de l'énergie solaire. À l'inverse, l'orientation est-ouest conduit à des profondeurs importantes mais avec un gain solaire potentiel inférieur à celui d'une orientation sud. Le moindre ensoleillement est compensé par une plus grande compacité et une minimisation des déperditions thermiques par transmission.

De manière générale, on peut compter dans ce cas sur un ensoleillement des deux côtés. Les pièces principales pourront être orientées des deux côtés tandis que les pièces secondaires seront situées au centre. On pourra de la sorte atteindre une grande profondeur et donc une compacité supérieure. Pour la disposition des pièces principales, il faudra prendre en compte l'ensoleillement du matin ainsi que celui du soir.

Un examen précis de plans de logements montre que, même pour une orientation nord-sud, une troisième partie au nord est envisageable. On pourra y placer les pièces n'ayant pas un besoin absolu de soleil (par exemple la chambre des parents, un bureau), ou celles se situant dans le prolongement d'un espace orienté au sud (par exemple un séjour tout en longueur comprenant la salle à manger). En ce qui concerne les pièces côté sud, on préférera des espaces profonds et étroits. On peut ainsi vitrer largement la façade sans risquer de surchauffe.

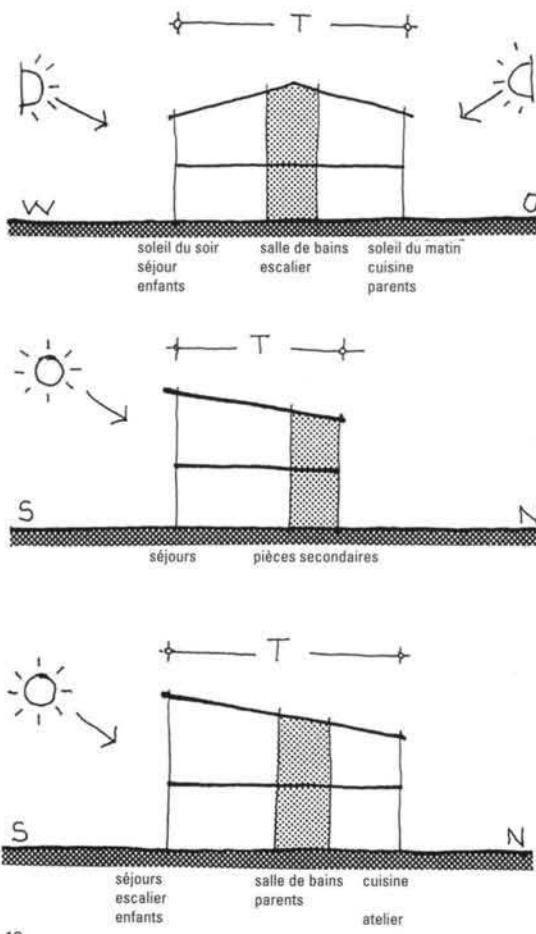
Cette disposition permet une plus grande liberté dans la conception du plan. Elle permet un éclairement des deux côtés et une relation à l'espace extérieur, ce qui améliore nettement le confort d'un logement.

L'orientation au sud n'empêche donc pas la conception d'un bâtiment profond et compact. De plus, de petits écarts par rapport à l'orientation au sud apportent des variations subtiles sans diminuer de façon substantielle les apports solaires. En faisant pivoter l'orientation principale vers le sud-ouest, on pourra bénéficier du soleil pendant les soirées d'été. Cela joue en faveur du confort intérieur mais

12 Cf. 11: influence sur la compacité (rapport surf./vol.)

13 Principes de répartition des pièces selon l'orientation

14 Lotissement Looren à Affoltern am Albis, Metron Architektur, 1998 (voir aussi p.50). Espace cuisine/séjour/salle à manger traversant



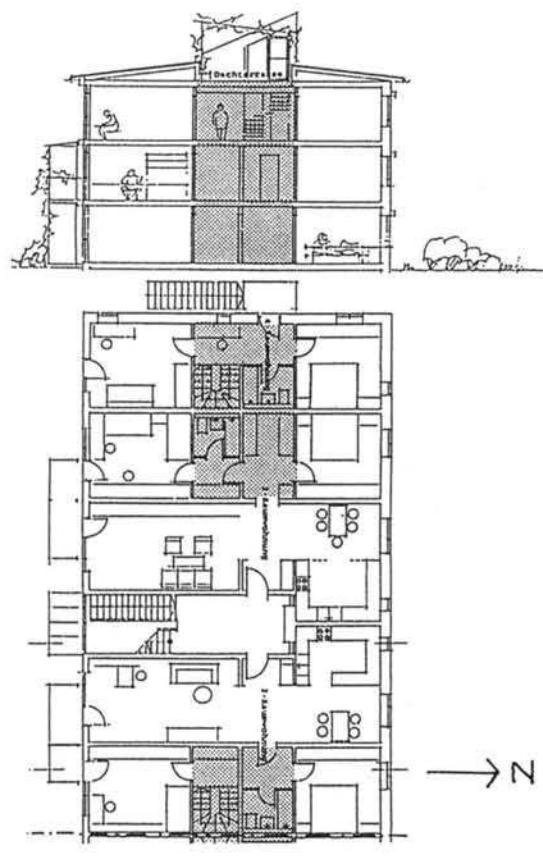
13

14



15 Concours Wonen 2000 (Habitat 2000), Essen, Stender, Söldner, Gonzalo. Plans profonds avec espace cuisine/séjour/salle à manger traversant

16 Immeuble de bureaux et de logements à Wiesbaden, A-Z Architekten, 2002 (voir aussi p. 68). La profondeur du bâtiment compense l'inconvénient d'une orientation est-ouest. Les pièces principales sont éclairées des deux côtés.



15

aussi des espaces extérieurs. En toute logique, la façade opposée sera donc tournée vers le nord-est, ce dont profiteront les pièces de ce côté (par exemple la cuisine et la chambre des parents) où pénétrera le soleil matinal en été et en demi-saison.

L'étude de l'orientation entraîne souvent une confusion de différents concepts. Il est important de bien distinguer l'éclairement, l'utilisation de l'énergie solaire pour le chauffage d'une pièce et l'ensoleillement synonyme de qualité spatiale. L'éclairement est possible pour toutes les orientations. Dans certains cas (bureaux, ateliers d'artiste) l'orientation au nord est même préférée en raison de la régularité de la répartition lumineuse, de l'absence de surchauffe ou d'éblouissement dus à un ensoleillement direct.

Pour l'utilisation de l'énergie solaire, on distingue deux types de rayonnement solaire: le direct et le diffus. La part diffuse est la même pour toutes les orientations à l'exception du nord qui bénéficie d'un apport solaire moindre. Pour l'utilisation passive de l'énergie solaire en tant qu'apport énergétique dans le chauffage, il faut en fait prendre en compte le rayonnement solaire direct en raison de son intensité, sachant que la valeur maximale est atteinte au sud. Cette valeur se réduit rapidement dès que l'on s'écarte vers l'est ou l'ouest.

Pour une exposition est-ouest, les apports solaires devraient en outre être considérés en parallèle avec l'évolution des températures. L'intensité de rayonnement est pratiquement identique des deux côtés. Par contre, les températures extérieures matinales sont inférieures à celles de l'après-midi. Par conséquent, les besoins en énergie d'une pièce sont plus importants le matin et donc aussi le facteur d'utilisation du potentiel d'énergie solaire. Il est préférable de placer les pièces principales à l'ouest en raison de la qualité de cette situation dans le bâtiment et de la présence des habitants (surtout l'après-midi).

Pour l'examen de l'ensoleillement comme aspect de la qualité spatiale d'une pièce, un autre facteur entre en jeu: la position du soleil au cours de la journée. En hiver, le soleil se lève



16



17



18



au sud-est, atteint son zénith (et donc son intensité maximale de rayonnement) vers midi, puis se couche au sud-ouest. Cela signifie que le rayonnement solaire atteint une façade est ou ouest avec un angle qui diminue de plus en plus à l'approche de midi et qui laisse donc pénétrer le soleil moins profondément dans la pièce. Lorsque cet angle est inférieur à 15°, le rayonnement solaire est renvoyé en grande partie par le vitrage. Plus on s'éloigne de midi, plus l'angle d'incidence est important et plus bas est le soleil sur l'horizon. Les ombres portées de bâtiments parallèles augmenteront en conséquence.

#### *Façades solaires*

Les premières maisons basse énergie se distinguaient des bâtiments traditionnels par des ouvertures le plus larges possible sur la façade orientée vers le soleil. Les besoins en énergie étant alors encore assez élevés, les apports solaires tirés des grandes surfaces vitrées avec un haut degré d'efficacité pouvaient être exploités. L'amélioration progressive des propriétés constructives et du génie climatique des bâtiments a néanmoins permis de réduire les besoins en énergie et donc la surface nécessaire de vitrage. Du point de vue énergétique, les façades vitrées en totalité constituent rarement la meilleure solution. De plus, elles entraînent des risques de surchauffe en été. Les ouvrages spécialisés recommandent de ne pas dépasser une proportion de vitrage de 50% de la surface totale de la façade sud.

La cohérence formelle et fonctionnelle des mesures d'utilisation passive de l'énergie solaire avec la conception architecturale d'un bâtiment est plus importante que ses dimensions. Toutes les mesures prises ne devraient pas gêner l'utilisation des pièces principales mais au contraire avoir, par leur action manifeste, un effet bénéfique sur nos perceptions. Les occupants pourront ainsi mieux les accepter et adopter un comportement plus responsable vis-à-vis de l'énergie.

Dans les échanges énergétiques d'un bâtiment avec son environnement, on constate que les limites thermiques entre l'intérieur et l'extérieur

17 Lotissement Diana's Have, Danemark, Tegnestuen Vandkunsten, 1992. Effet spatial apporté par un éclairage zénithal au nord

18 Ensemble de logements à Eching, près de Munich, R. Tobey 1988. Séjour avec façade sud vitrée en totalité

19 Lotissement de maisons passives Höckstein à Jona près de Rapperswil, Suisse, Roos Architekten, 2002. Pour une maison passive, la part optimale de vitrage se réduit sur la façade sud.



20



21



22



23

sont constamment franchies. Cette forme particulière de relation intérieur/extérieur se produit de diverses façons, la plupart du temps sans que l'on s'en rende compte.

L'air frais aspiré par une bouche d'extraction entraîne un échange de chaleur par la ventilation (que l'on ressent), mais l'effet global énergétique n'est pas sciemment constaté. Un vitrage froid permet par exemple de deviner la migration énergétique au travers de l'enveloppe du bâtiment. Mais la perception globale de ce processus, comme le montre une photographie infrarouge, est en fait impossible.

Le rayonnement solaire pénétrant dans une pièce permet de repérer plus aisément l'apport énergétique. Ne se réduisant pas à de la chaleur, cette énergie peut être appréhendée de différentes manières. La seule observation d'une surface ensoleillée suffit à apprécier ce flux d'énergie. À l'inverse, la fraîcheur de l'ombre ne sera appréciée en été que par le contraste qu'elle offre avec la chaleur du soleil.

La lumière venant du soleil traverse un espace et le relie au monde extérieur. Le rayonnement solaire élargit nos perceptions car elle fait le lien entre l'intérieur et l'extérieur.

«Grâce à la fenêtre, le petit séjour est projeté dans le grand monde et elle permet de s'orienter dans le monde. Grâce à la fenêtre, on peut voir

au-dehors, on voit le ciel et l'horizon (ou quelque endroit de ce monde extérieur qui, même s'il n'est pas visible, est tout de même présent). Grâce à la fenêtre, l'espace intérieur de l'Homme est donc clair et net.» (2)

Plusieurs éléments, pas seulement dans l'enveloppe mais aussi devant et derrière cette limite que nous appelons façade, articulent le rapport entre intérieur et extérieur. Si l'on étudie les principes de l'utilisation passive de l'énergie solaire de ce point de vue, on constate avec étonnement à quel point une fenêtre est complexe, alors qu'elle est considérée comme le système de captage d'énergie solaire le plus simple.

Les différentes exigences que doit remplir une fenêtre (lumière, air, soleil, vue sur l'intérieur, sur l'extérieur et à travers, ainsi que la possibilité de privilégier certains points de vue) confèrent à cet élément un potentiel inépuisable.

Une fenêtre peut satisfaire une ou plusieurs de ces exigences. C'est tantôt un élément simple, modeste, tantôt un assemblage complexe de composants qui répond, dans son ensemble, à divers impératifs. Elle n'est pas qu'une simple surface. Sous forme de façade à plusieurs couches ou par activation de dispositifs de régulation (protection solaire, orientation de la lumière, etc.), elle peut s'étendre sur l'intérieur ou sur l'extérieur. Ainsi, la façade s'adapte aux

20 Maison à Amaicha, Argentine. Les rayons du soleil font ressentir la fraîcheur de l'ombre.

21 Moucharabieh au Caire, Égypte. La fenêtre comme filtre du monde extérieur

22 Fenêtre à Prague. Les exigences complexes imposées aux fenêtres se remarquent dans leurs nombreux détails.

23 Lotissement Wohntraube à Veitshöchheim, Tegnestuen Vandkunsten, 1989. Effet spatial du rayonnement solaire

(2) Otto F. Bollnow: *Mensch und Raum*, Stuttgart 1989



24



25



26



27

particularités spatiales et réagit aux états changeants de l'intérieur du bâtiment ou du monde extérieur. Une différenciation dans le traitement de ses surfaces est possible et même conseillée si l'on souhaite rendre perceptibles pour les usagers ses fonctions, y compris celles liées à l'énergie.

« Par des rideaux et des voilages, les hommes ont cherché à obturer les fenêtres alors que la façon d'habiter aujourd'hui privilégie l'ouverture de la maison sur le monde extérieur par de larges surfaces vitrées. Mais, à l'inverse, quand dans sa pièce éclairée l'homme de la nuit est exposé à la vue d'inconnus qui peuvent l'observer incognito depuis l'obscurité, alors il se sent menacé et referme rideaux et volets. » (3)

Le passage de l'extérieur à l'intérieur est moins perceptible dans le cas d'un mur exposé au soleil. La chaleur du soleil traverse les surfaces extérieures transparentes ou translucides et frappe la paroi intérieure. Ce phénomène ne peut pas se constater de l'intérieur ni être associé à un quelconque effet spatial précis.

Les verres qui les recouvrent rendent en apparence les murs solaires semblables aux fenêtres. Il en va tout autrement à l'intérieur car le mur vient se rajouter à d'autres surfaces fermées. En fin de compte, sa fonction d'élément solaire est soumise dans sa totalité au diktat des

principes thermodynamiques. À ce sujet, Bruno Schindler affirme :

« L'architecture solaire est une chemise, pas une décoration. Elle n'est pas un accessoire ; elle est peau et habit à la fois. Elle est quelque chose de totalement enveloppant, quelque chose d'évanescence, de changeant ; loin d'un équilibre thermodynamique, elle constitue une phase de transition aux formes auto-organisatrices. L'architecture solaire fonctionne grâce au profond éclat de ses surfaces. » (4)

Par une mise en cohérence effective entre les dimensions et les modes d'action énergétiques d'une part et, d'autre part, la construction elle-même et la réalisation architecturale, ces deux systèmes peuvent tout à fait se compléter.

24 Lotissement Tinggården à Herfølge, Danemark, Tegnestuen Vandkunsten. La fenêtre comme trou dans le mur

25 Cf. 24 : la fenêtre comme élément distinctif

26 Maison à Planegg, Demmel + Mühlbauer. A l'extérieur, le mur solaire est semblable à la surface vitrée mais ne se remarque pas à l'intérieur.

27 Cf. 26 : vue intérieure

(3) Otto F. Bollnow : *Mensch und Raum*, Stuttgart 1989

(4) « Solar architecture is a shirt, not a medal. It is not an accessory; it is both skin and dress. It is something totally enveloping, something ephemeral, easily changeable, far from thermo-dynamic equilibrium, it is a stage for self-organizing shapes. Solar architecture works through the deep lustre of its surface. »

Bruno Schindler : « From Solar Accessories to Solar Architecture » in *Solar Energy in Architecture and Urban Planning*, édité par Sir N. Foster & H. Scheer, Florence 1993



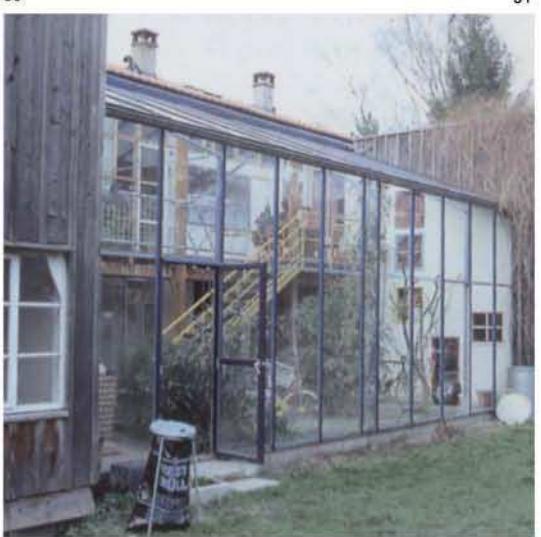
28



29



30



31

### Espaces de transition

Une véranda prolonge l'espace intérieur. Son effet architectural tient en premier lieu à la multiplicité des relations entre intérieur et extérieur qui peuvent se manifester dans une telle pièce.

L'utilisation de pièces vitrées comme espaces tampons avec de basses exigences en matière de température se révèle dans la pratique peu satisfaisante sur le plan thermique car leur efficacité dépend trop du comportement des utilisateurs. Une mauvaise utilisation de cet élément risque rapidement d'augmenter les déperditions au lieu de les ralentir. Un espace vitré ne peut avoir un bilan énergétique positif en tant qu'espace tampon et serre solaire que si on l'utilise sans le chauffer. Dans la plupart des cas, les dépenses seraient en effet trop importantes.

Un sondage réalisé en Grande-Bretagne au sujet de l'utilisation de vérandas a révélé que 91% de celles-ci étaient chauffées de manière directe ou indirecte (ouvertes sur un espace chauffé). Un tiers d'entre elles étaient chauffées jusqu'à 10 °C pour éviter aux plantes de geler et les deux autres tiers au-dessus de 16 °C, pour pouvoir les utiliser comme pièces à vivre. Des espaces vitrés mieux conçus, avec un double vitrage, sont chauffés deux fois plus longtemps que ceux avec un simple vitrage. (5)

Avec le niveau atteint par les maisons passives, on en est venu à un contraste marqué entre intérieur et extérieur. Cela a donné ce que l'on a appelé la «box architecture». Ce développement s'explique par la tentative d'une définition plus rigoureuse de la séparation thermique entre espaces chauffés et non chauffés. Avec un volume simple, il est possible d'obtenir une plus grande compacité et de simplifier l'application de cette séparation thermique. On peut ainsi satisfaire aux exigeantes normes en matière d'isolation thermique, et ce, d'une façon plus économique. Un agrandissement des surfaces émissives suppose une amélioration de l'isolation pour garder le même bilan énergétique.

D'autres dispositifs qui sont en règle générale à l'origine de ponts thermiques, comme

28 Lotissement à Passau-Neustift, H. Schröder et S. Widmann, 1989. Éléments vitrés permettant une protection au vent et servant de cheminée pour l'air chaud amené aux étages

29 Maison d'hôte d'un établissement d'enseignement à Windberg, Thomas Herzog, 1992. Contribution fonctionnelle et plastique de murs solaires et de surfaces vitrées.

30 Wohnen 2000 (Habitat 2000), IGA Stuttgart 1993, E. Muszynska et al. Serre comme espace de distribution chauffé et d'une construction très simple

31 Lotissement Nachtgärtle à Fussach, Vorarlberg, Juen, 1984. Véranda comme espace de distribution commun

(5) T. Oreszczyn: «The energy duality of conservatories: a survey of conservatory use» in *Solar Energy in Architecture and Urban Planning*, in *ibid*.



32



33



les auvents, les balcons, les terrasses couvertes, les murs latéraux de protection, sont ainsi inutiles pour le bilan énergétique en raison des ombres qu'ils génèrent en hiver et seront par conséquent évités.

La simplification du langage formel architectural présente certainement des avantages. L'architecture traditionnelle, par nécessité, a suivi le même chemin. Cela dit, l'enveloppe du bâtiment ne doit pas se réduire à une simple séparation thermique entre les espaces intérieurs et extérieurs. La conception d'espaces de transition nécessite une attention particulière. Il faut à cet égard vérifier et optimiser leurs effets énergétiques.

Les derniers matériaux et technologies (vitraux très isolants, panneaux d'isolation sous vide) peuvent à cette occasion donner une nouvelle impulsion à la redéfinition des enveloppes. Ils ne devraient toutefois pas inciter à s'écartier du modèle d'une construction compacte économique en énergie, mais au contraire enrichir le vocabulaire et la diversité de l'architecture dans sa confrontation avec ce qui l'environne. L'objectif de ce développement est l'amélioration de la qualité des espaces habités sans oublier les effets non négligeables sur les espaces extérieurs et les possibilités d'utilisation.

#### *Utilisation et bilan énergétique*

La notion de construction énergétiquement efficace est apparue en premier avec les maisons individuelles. Même les dispositions légales actuelles semblent se référer à la villa pour leurs conceptions et exigences. Dans une société en mutation, la notion de « logement » ne doit pas seulement être reconSIDérée du point de vue énergétique : elle doit être étendue au bâtiment, au lotissement, à la ville pour trouver un cadre correspondant aux tentatives et aux possibilités de l'architecture économique en énergie. L'optimisation de chaque composant ou bâtiment ne peut pas être le principal objectif.

La construction de logements devrait refléter l'évolution et la diversité des modes de vie urbains. Les diverses étapes de la vie, les situations personnelles, les habitudes et les aspirations

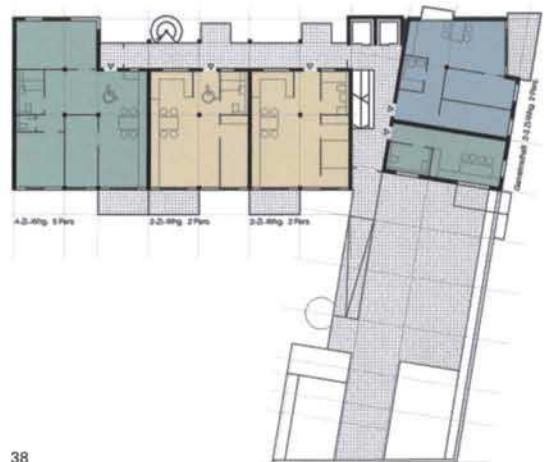
32 Bow-window à Madrid

33 Bâtiment d'habitation et de bureaux à Schwarzach, Lenz + Kaufmann, 1999 (voir aussi p. 122). Une forme compacte avec pour chacun des espaces libres en terrasse

34 Lotissement Looren à Affoltern am Albis, Metron Architektur, 1998 (voir aussi p. 50). Malgré l'ombre portée, les balcons marquent fortement l'image des surfaces extérieures.



37



38

35 Bâtiment d'habitation Hellmistrasse à Zurich, ADP, Ramseier, Jordi, Angst, Hofmann, 1991

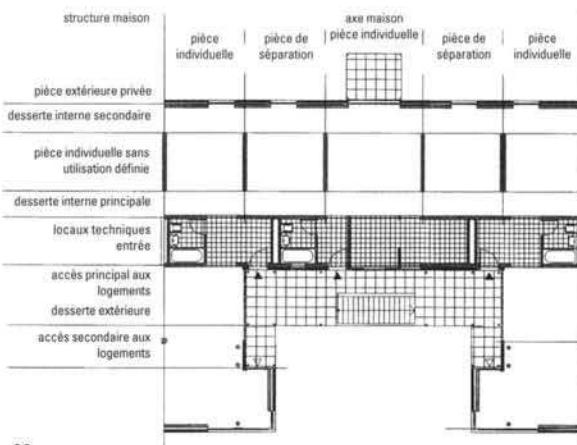
36 Cf. 35 : le plan permet un éventuel redécoupage des appartements.

37 Ensemble de logements à Munich, H2R, Hüther, Hebensperger-Hüther, Röttig, 2001 (voir aussi p. 56)

38 Cf. 37 : appartements de différentes dimensions et ameublement semblable

(6) Friedrich Achleitner

35



36

propres à chaque groupe doivent être prises en compte. Il faudrait se tourner vers une structure urbaine ouverte et flexible capable de s'adapter aux évolutions d'utilisateurs toujours différents et en évolution.

« Tu dois te rendre maître de la Terre, dit le bon Dieu à l'architecte en clignant de l'œil.

C'est diablement inconfortable ici !

Au bord de la Méditerranée, on vit devant la maison, dans la ruelle ou sur la place.

Il n'y a pas de séjour dans les maisons pauvres et les riches sont froides à cause d'une décoration excessive ou par manque d'aménagement. Là où il pleut et où il fait froid, on reste volontiers à l'intérieur. Quand les maisons sont éloignées les unes des autres, on se retrouve dans les logements.

Le Viennois habite au café.

Ah ! Vous habitez à Neukölln [quartier de Berlin] !

Que faites-vous à la maison ?

LE MÉNAGE, LE MÉNAGE. » (6)

En fait, il faudrait redéfinir la façon d'habiter. L'individualisation de la société a entraîné dans les villes une forte augmentation des logements pour une ou deux personnes. Les petits appartements pourraient toutefois satisfaire la demande en s'additionnant pour devenir plus grands. Si l'on veut améliorer la qualité de vie en ville, il est nécessaire de favoriser la diversité et d'augmenter le nombre de logements desti-

nés aux familles. L'évolution de celles-ci rend souhaitable à un moment donné la division d'un logement pour éviter sa sous-occupation.

Le bilan énergétique d'un bâtiment est basé sur la consommation en énergie par mètre carré. Il serait cependant plus pertinent de se référer aux occupants. Une consommation d'énergie calculée par occupant prendrait en compte l'utilisation du bâtiment et mettrait à l'honneur les réalisations soucieuses de minimiser les surfaces. En moins d'un demi-siècle, les surfaces habitables souhaitées par personne en Allemagne ont plus que doublé. L'économie de surface est le premier pas en direction d'économies financières et aussi d'économies d'énergie. Un mètre carré non bâti ne consomme pas d'énergie. Des plans bien structurés et économiques ont un énorme potentiel d'économies d'énergie. Un plan ouvert permet de créer des pièces adaptées aux besoins ; c'est en même temps un avantage car il favorise la circulation de la chaleur notamment celle apportée par le rayonnement solaire.

Les espaces non chauffés ou utilisés de façon temporaire (chambres d'ami, locaux consacrés à un hobby occupés de temps en temps, ateliers, etc.) doivent être déplacés hors du volume chauffé. La mise à disposition d'espaces communs est une bonne alternative à ces locaux sous-occupés. Dépenses et utilisation peuvent ainsi entretenir des rapports plus équilibrés.



39

Des lotissements ou des quartiers urbains denses constituent le cadre idéal pour de telles structures. Le logement bénéficiera ainsi d'un plus grand degré d'ouverture au monde. L'individu se retrouvera impliqué dans le tissu social, ce qui ne pourra que renforcer le sens des responsabilités et du bien-être collectif. Il est inutile de rappeler que c'est justement là que se trouve la raison principale d'une nouvelle façon d'habiter plus soucieuse de l'énergie.

#### Réhabilitation énergétiquement efficace

##### *Réhabilitation au lieu de construction nouvelle: avantages*

L'optimisation énergétique des bâtiments neufs est déterminante pour l'avenir car ceux-ci seront utilisés pendant des décennies. Si l'on observe cependant la situation actuelle, les principaux gisements d'économies d'énergie se trouvent dans la rénovation de l'ancien. Les bâtiments d'après-guerre, qui ne sont donc pas encore au terme de leur vie utile, ont des besoins énergétiques bien supérieurs à ceux des standards actuels.

La rénovation énergétique d'un bâtiment fait baisser sa consommation d'énergie tout en prolongeant la durée d'utilisation. La dépense d'énergie pour sa construction et sa démolition finale peut être répartie sur une plus longue



40



41

39 Lotissement Puchheim, Munich, M. Kovatsch, 1989. Maison commune

40 Aménagement de toiture à Munich avec verrière au-dessus de la cage d'escalier, F. Dirtheuer

41 Modèle de réhabilitation écologique, Pariser Strasse à Munich, Per Krusche, Arche Nova, 1989

(7) Günther Moewes:  
*Weder Hütten noch Paläste*, Bâle 1995, p. 28



42



43

Au niveau de l'énergie et de l'économie, les objectifs à viser en ce qui concerne le bâti existant sont les suivants:

- réhabilitation au lieu de construction nouvelle
- prolongation du cycle de vie des matériaux par utilisation des bâtiments existants
- économie de matériaux; on évite de construire du neuf et d'imperméabiliser davantage les sols
- amélioration thermique du bâti existant et donc réduction des émissions polluantes

#### *Conditions pour la réhabilitation*

Les critères essentiels pour la construction dans l'ancien résident dans sa capacité à être rénové et dans l'intérêt de cette opération. Cette capacité concerne le bâti lui-même. Lors de l'étude d'une réhabilitation, il importe pour chaque projet de lister les différents critères et de les pondérer. Il peut s'agir de la situation urbanistique, de la structure existante, de l'aptitude du bâtiment à être rénové, etc.

Outre l'état du bâti, d'autres aspects sont à considérer au moment d'une réhabilitation pour en définir le bien-fondé:

- rentabilité par rapport à une construction neuve
- faisabilité fonctionnelle
- considérations liées à la protection du patrimoine
- aspects écologiques et énergétiques

Ces deux derniers aspects sont évalués tout d'abord en fonction des économies potentielles d'énergie et de ressources. À ce stade, il convient de faire une comparaison avec les alternatives – transformation, remplacement au même endroit (démolition et reconstruction) ou reconstruction sur un autre site.



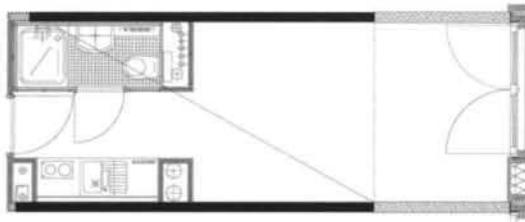
44

42 Transformation d'un bâtiment industriel en un centre sportif à Madrid, Oscar Tusquets Blanca, 2004, vue intérieure

43 Cf. 42: vue extérieure

44 Transformation de l'ancienne Zeisehalle de Hambourg en un centre culturel et de spectacles, Medium, Jentz, Popp, Wiesner, 1996

La réhabilitation d'un bâtiment devrait toutefois être pensée dans la perspective d'un changement d'affectation. Une réorganisation des fonctions du bâti ancien, si possible accompagnée d'une densification, permettra une meilleure utilisation de secteurs urbains déjà desservis et représente donc la meilleure des mesures d'un point de vue écologique, à savoir lorsqu'on renonce à construire du neuf.



45

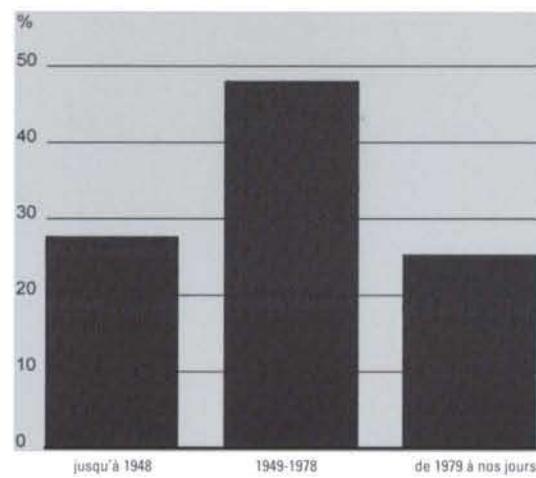
Il existe certes pour différentes époques un certain nombre de caractéristiques constructives pour lesquelles on a mis au point des solutions éprouvées; néanmoins il n'existe pas de règles générales. L'isolation de l'enveloppe du bâtiment, le remplacement des fenêtres et la modernisation du système de chauffage sont souvent les premières mesures à prendre. Seul un état énergétique des lieux permettra de fixer les priorités.

Si l'on a en mémoire la fièvre de construction de la période située entre l'après-guerre et les années 1960, il est facile d'imaginer l'ampleur des rénovations à effectuer. Ces bâtiments ont à peine atteint la moitié de leur durée d'utilisation et consomment tout de même cinq fois plus d'énergie que les bâtiments respectant les normes actuelles et plus de dix fois plus qu'une maison passive. D'un point de vue énergétique, on estime en Allemagne à 24 millions le nombre de logements qui doivent être réhabilités; il s'agit de ceux qui consomment plus de 150-200 kWh/m<sup>2</sup>/an. Les trois quarts des bâtiments datent d'avant la première ordonnance en matière d'isolation thermique (1977). Selon l'état des bâtiments, on estime pouvoir faire des économies de 30 à 70% sur les plans technique et économique. Or, en raison de leur déficience énergétique, ces bâtiments sont souvent démolis et remplacés par d'autres, ce qui fait que l'énergie primaire utilisée pour leur construction n'aura jamais été amortie.

Le choix de réhabiliter un bâtiment est rarement lié à la seule amélioration de ses qualités énergétiques. Parallèlement à l'abaissement des coûts énergétiques, d'autres objectifs sont visés comme, par exemple, le traitement de désordres de construction (surtout l'humidité due aux ponts thermiques et aux problèmes d'étanchéité), le remplacement de matériaux toxiques (peintures, amiante) ou la modernisation de l'équipement technique. L'adaptation aux nouvelles exigences et l'amélioration des conditions d'habitation et d'utilisation des bâtiments sont les conséquences les plus visibles d'une rénovation d'une telle envergure.



46



47



48

45 Résidence pour étudiants à Wuppertal, Müller, Schlueter, 2000-2003. À l'occasion du passage au standard de maison passive les chambres ont été agrandies.

46 Cf. 45

47 Répartition en pourcentage des logements existants selon leur ancienneté. Les trois quarts ont été construits avant la première ordonnance sur l'isolation thermique. Source: annales statistiques

48 Couverture de la cour intérieure du Museum für hamburgische Geschichte, von Gerkan, Marg und Partner, 1989. Grâce à son rôle d'espace tampon non chauffé, la cour prolonge le musée et réduit les déperditions thermiques.

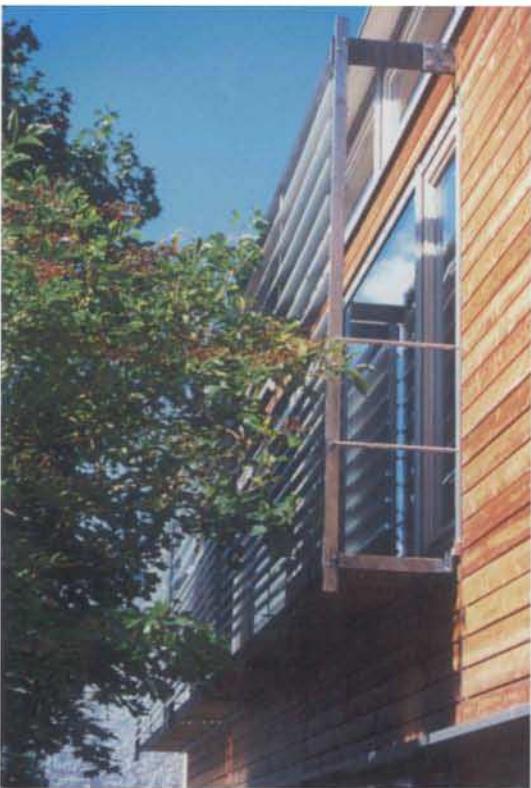


49

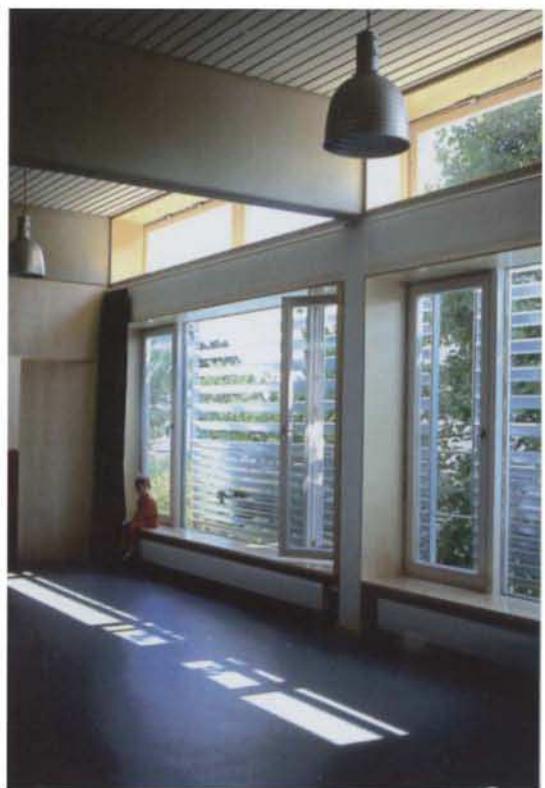
49 Fenêtre à caisson.  
Ancêtre de la façade double peau. Coefficient U de 2,0W/m<sup>2</sup>.K meilleur que les vitrages isolants (2,8) mis au point plus tard

50 Pollok + Gonzalo: réhabilitation et restructuration d'un centre évangélique à Gilching. On a réduit la consommation énergétique au niveau de celles des maisons basses énergie (NEH).

51 Cf. 50: l'éclairage naturel et la protection solaire ont été optimisés.



50



51

La portée d'une réhabilitation ne peut s'apprécier de façon globale. Les mesures et le potentiel d'économies d'énergie doivent plutôt se baser sur une analyse de l'état des lieux. Différentes solutions constructives et techniques sont envisageables en fonction des éléments apportés par le bilan énergétique.

#### *Isolation thermique*

Les propriétés thermiques des enveloppes des bâtiments construits après-guerre sont parfois moins bonnes que celles des bâtiments antérieurs. La volonté de maîtrise, parfois excessive, du coût de construction et la généralisation des structures poteaux-poutres ont eu pour conséquence un amincissement des murs mais sans une amélioration proportionnelle des qualités thermiques des matériaux. Même les anciennes fenêtres à caisson ont un meilleur coefficient U que les nouveaux doubles vitrages.

L'amélioration de l'isolation thermique exige une approche différenciée des éléments de

construction. Les toitures doivent en règle générale être remplacées et parfois même surélevées, mais à y regarder de plus près, le surcoût d'une meilleure isolation thermique est faible. La pose d'une couche supplémentaire d'isolant en sous-face du plancher de rez-de-chaussée s'avère dans les faits économique, efficace et simple – sauf si cela pénalise l'usage du sous-sol en réduisant la hauteur. Pour la réfection des revêtements de sol dans les bâtiments sans sous-sol, l'ajout d'un isolant supplémentaire complique déjà l'opération. La hauteur sous plafond, la hauteur de passage d'une porte, la nécessité d'accessibilité à tous et celle de passage entre les différentes parties du bâtiment doivent être prises en compte.

Pour les murs extérieurs, il existe deux possibilités principales pour poser une isolation thermique supplémentaire: en règle générale, elle consiste en un complexe isolant extérieur ou bien en la pose d'un isolant placé derrière un bardage de façade séparé par un vide d'air.

L'isolant est ainsi placé dans les meilleures conditions physiques et constructives. Dans le cas d'une isolation par l'extérieur, le mur apporte aux espaces intérieurs son inertie thermique, ce qui contribue au lissage des températures intérieures.

Une isolation intérieure exerce à l'inverse une influence négative sur la masse d'inertie et le confort intérieur. En raison des problèmes constructifs qu'elle entraîne (mauvaise régulation hygrométrique, point de rosée), on ne l'envisage que lorsqu'une isolation par l'extérieur nuirait à l'esthétique d'un bâtiment (par exemple pour des maçonneries apparentes, une façade avec éléments de modénature ou bien pour la protection du patrimoine). Pour éviter les ponts thermiques, les liaisons entre les murs intérieurs et les planchers doivent être étudiées avec attention. Il est indispensable de prévoir un pare-vapeur sans le moindre interstice. Si cela n'est pas réalisable, on se tournera vers des systèmes isolants qui empêchent la pénétration de vapeur d'eau.

Dans le cadre d'une réhabilitation, il faut aussi remplacer les fenêtres. Si un isolant est rapporté par la suite sur un mur extérieur, il faut alors éviter la formation de ponts thermiques au droit des liaisons: il est donc recommandé de placer les fenêtres au niveau extérieur de l'isolation thermique ou de recouvrir le châssis dormant de la fenêtre. Il faudra être très attentif aux ponts thermiques des fenêtres en bande intégrées dans les panneaux préfabriqués des structures en béton armé.

Le renforcement de l'isolation thermique d'une enveloppe augmentera les températures de surface des pièces. On pourra ainsi bénéficier d'améliorations sur le plan physique du bâtiment (suppression des eaux de condensation) et d'un confort accru.

#### Ventilation

La ventilation naturelle par la fenêtre entraîne un échange d'air irrégulier et incontrôlé ainsi que d'importantes déperditions thermiques. La rénovation thermique d'une enveloppe permet une réduction des déperditions thermiques par transmission. Le traitement des déperditions thermiques par la ventilation joue alors un rôle essentiel.



52



53

**52** Réhabilitation thermique et restructuration d'une école maternelle des années 1960 à Lochham, Pollok + Gonzalo, 2003. Les parois de béton ont nécessité une isolation intérieure pour éviter les ponts thermiques.

**53** Cf. 52: vue extérieure

**54** Transformation d'une halle de l'Exposition universelle de Séville en bâtiment pour l'université, SAMA, J. López de Asaián, 1996. L'éclairement naturel et les protections solaires ont rendu les installations de climatisation souvent superflues.

**55** Cf. 54: dispositifs d'orientation de la lumière placés devant les fenêtres



54



55



56



57

Le fonctionnement efficace et économique d'une ventilation contrôlée, comme par exemple avec des gaines de ventilation, suppose une enveloppe avec une imperméabilité à l'air suffisante. Il faut alors veiller à la bonne étanchéité des joints au moment de la pose de nouvelles fenêtres. De même, la réalisation des joints de construction réclame une grande attention, surtout pour les liaisons entre les différents éléments et les réservations (par exemple pour une cheminée).

De faibles hauteurs sous plafond ou des cas particuliers peuvent amener certaines difficultés lors de l'étude du passage des gaines de ventilation. Une installation centralisée génère en règle générale d'importantes difficultés. La décomposition de l'installation en unités décentralisées simplifie le parcours des gaines et réduit leur section.

#### *Système de chauffage*

En règle générale, la modification du système de chauffage représente une des mesures les plus importantes pour la réduction des dépenses de chauffage lors de la rénovation d'un bâtiment. S'il est très ancien, il faudra même dans certains cas remplacer l'ensemble de l'installation.

Le choix d'un nouveau système de chauffage devrait, comme pour les bâtiments neufs, prendre en compte tous les facteurs du bilan énergétique (apports solaires, température souhaitée,

ventilation contrôlée, gains de chaleur interne). De plus, la détermination précise des besoins en chauffage et la régulation de chaque pièce sont des sources importantes d'économies. Les systèmes de régulation actuels permettent non seulement une utilisation efficace et confortable de l'énergie, mais aussi un contrôle ultérieur et une éventuelle correction des critères établis au départ. Enfin, ils donnent la possibilité d'un décompte individualisé de la consommation, d'annonce d'incidents et d'autocontrôle automatique.

Pour une étude de rentabilité économique, les mesures de rénovation en matière d'économies et de captage d'énergie sont de deux types: le premier regroupe celles qui sont essentielles sur le plan technique et/ou préconisées par les dispositions légales comme:

- isolation d'éléments devant être de toute façon modifiés sur le plan constructif
- remplacement de fenêtres
- modernisation du système de chauffage

Il faudra, à partir de ces différentes possibilités, choisir la solution la plus économique. Une évaluation du coût de ces mesures n'est pas nécessaire quand la modernisation est imposée par des directives, comme par exemple les prescriptions en matière d'économies d'énergie.

Le second type concerne les mesures que la technique permet, qui correspondent au stade le plus avancé et sont justifiées par des économies de coût de fonctionnement:

- mesures liées à l'utilisation d'énergies renouvelables (par exemple les collecteurs solaires pour l'eau chaude sanitaire, les installations photovoltaïques)
- ventilation contrôlée avec récupérateur d'énergie
- régulation de la température par pièce avec relevé de la consommation

La justification des dépenses liées à ces mesures se fait au moyen d'un audit de rentabilité et en confrontant les investissements avec les amortissements. Mais le faible coût de l'énergie induit parfois de très longues périodes d'amortissement. C'est pourquoi on doit non seulement tenir compte des coûts objectifs d'utilisation, mais aussi d'autres aspects importants comme la garantie vis-à-vis des augmentations du prix

56 Rénovation à Sonnenäckerweg, Fribourg, Rolf Disch, 1989. L'isolation translucide posée devant les murs massifs anciens permet d'obtenir un bilan énergétique positif et signale le lotissement rénové.

57 Cf. 56

de l'énergie, la valorisation sur le marché d'un bâtiment énergétiquement efficace, et surtout, la responsabilité en matière de protection de l'environnement.

### Bâtiments d'activités énergétiquement efficaces

#### *Exigences*

À la différence du logement, la construction énergétiquement efficace de bâtiments d'activités, bâtiments liés à leur fonction, est assez complexe. La notion d'immeuble d'activités comprend une multitude de types aux fonctions diverses et, par conséquent, différentes exigences en rapport avec le bilan énergétique. Les aspects partiels à considérer dans ce dernier sont à mettre en relation avec le résultat final. L'utilisation optimale de l'importante charge thermique, la prévention des surchauffes, les pare-soleil et autres dispositifs contre l'éblouissement, ainsi qu'une ventilation naturelle sont quelques-uns des facteurs déterminants pour le bilan énergétique. Selon la fonction du bâtiment ou d'une de ses parties, il est possible de pondérer leur valeur. Il est, dans ce domaine, impossible de s'aider de règles d'or ou de solutions globales. En même temps s'ouvre un champ de réflexion stimulant pour une confrontation créative avec les mesures destinées à économiser l'énergie.

Plus que dans le logement, il est essentiel de disposer de principes d'organisation et de structures flexibles ou d'espaces modulables. C'est ainsi que l'on pourra s'adapter sans grande dépense d'énergie aux modifications de contraintes et prolonger la durée d'utilisation de l'immeuble. Des plans tramés, des fenêtres modulaires et des systèmes de cloisonnement légers vont dans ce sens. Cela vaut aussi pour les opérations de rénovation. La majorité des bâtiments de bureaux existants ont moins de 30 ans. En dépit d'une forte consommation d'énergie, le confort est, la plupart du temps, peu satisfaisant. En été surtout, on met en marche la climatisation, très gourmande en énergie.

#### *Bilan énergétique*

Une conception énergétiquement efficace vise un équilibre entre gains et pertes énergétiques.



58



59



60

Si celui-ci n'est pas atteint, cela suppose que le confort thermique intérieur n'est pas assuré et qu'il faudra envisager des mesures de régulation supplémentaires (par exemple des pare-soleil, une isolation thermique renforcée). Si elles ne sont pas suffisamment efficaces, il faudra alors utiliser encore plus d'énergie (chauffage ou climatisation).

Le bilan énergétique peut être modifié par des mesures touchant à la conception, à la construction ou à la technique. Cela détermine aussi en règle générale la complexité et les investissements liés aux solutions choisies. Pour un résultat identique, les solutions les plus simples sur le papier peuvent se révéler, sur le plan technique, très coûteuses.

L'enveloppe d'un bâtiment détermine par sa compacité et la qualité de son isolation le degré de déperditions thermiques par transmission. Pour des raisons économiques, les bâtiments d'activités sont en règle générale compacts. La possibilité d'une répartition égale de l'éclairage naturel en été et de la ventilation naturelle doit toutefois être considérée. La répartition des espaces en fonction de leurs besoins d'éclairage permet tout de même d'obtenir des bâtiments profonds et compacts. Par rapport aux immeubles d'habitation, les conditions de travail dans les bâtiments d'activités et la présence d'un nombre important de personnes entraînent des débits de ventilation, et donc des

58 Immeuble de bureaux à Sursee, Suisse, Scheitlin Syfrig + Partner, 2002 (voir aussi p. 128)

59 Complex de bureaux à Duisbourg, Schuster Architekten, 2002. Bâtiment compact. Sur la façade sud, des panneaux solaires complètent les surfaces vitrées (voir aussi p. 134).

60 Cf. 59 : détail de façade



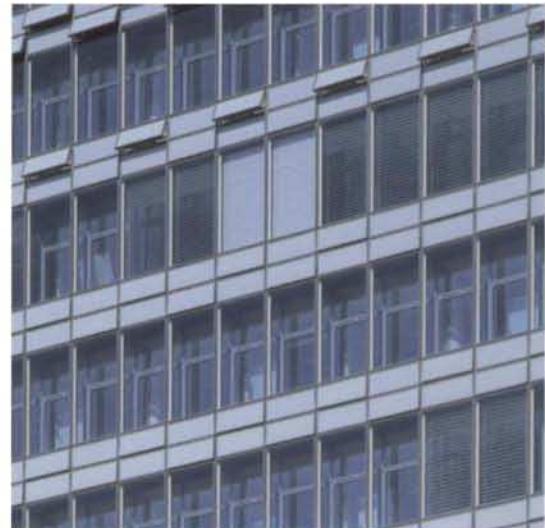
62



61



63



64

déperditions thermiques, bien plus élevés. Dans le cas de constructions compactes et bien isolées, les déperditions thermiques par la ventilation sont donc supérieures aux déperditions thermiques par transmission.

Une ventilation naturelle peut entraîner des déperditions thermiques massives et présente en outre le risque d'une mauvaise utilisation : par exemple une fenêtre ouverte ou un renouvellement d'air insuffisant qui cause une concentration de gaz toxiques ou bien de vapeur d'eau (désordres de condensation). Un renouvellement d'air contrôlé constitue une solution efficace qui présente également l'avantage de pouvoir récupérer la chaleur évacuée pour préchauffer l'air neuf entrant. Il est ainsi possible d'éviter les surchauffes dues aux charges thermiques (par exemple les occupants, les équipements) ou à des influences extérieures, car la chaleur peut être mieux répartie dans tout le bâtiment.

Un système de ventilation suppose aussi une bonne étanchéité à l'air de l'enveloppe. Pour une meilleure utilisation, différents aspects doivent être considérés :

- difficultés rencontrées en cas d'espace sur plusieurs niveaux
- répartition de locaux devant être aussi ventilés de façon mécanique l'été
- fonctionnement en association avec le chauffage

- possibilité d'une ventilation naturelle ou spécifique pour l'été

Le bruit produit par la circulation et les émissions de gaz nuisent à la qualité des conditions de travail. Pour remédier à ces problèmes, les fenêtres sont souvent maintenues en position fermée, ce qui rend difficile une ventilation naturelle, surtout en été.

Les façades double peau en verre sont une réponse de nature constructive. La disposition décalée des ouvertures d'une paroi à l'autre permet une réduction du bruit mais aussi une ventilation naturelle. Malgré des vents plus puissants, les fenêtres des immeubles de grande hauteur peuvent ainsi s'ouvrir. L'espace situé au cœur de la double peau peut servir à la maintenance et accueillir divers systèmes de régulation protégés des intempéries comme des pare-soleil, des dispositifs antiéblouissement ou des réflecteurs. Comme les vérandas, la façade double peau produit un effet tampon en tant qu'espace intermédiaire tempéré et assure un échange de chaleur par ventilation.

En fait, on connaît cette solution de longue date. Son ancêtre est la fenêtre caisson qui compensait les mauvaises qualités thermiques du simple vitrage et les faiblesses de l'étanchéité. Gerrit Rietveld a utilisé ce système pour l'École des beaux-arts de Rotterdam sous la forme d'une façade-rideau. Peter Behrens a lui aussi prévu

61 Commerzbank Francfort, Sir Norman Foster, 1997. Façade double peau

62 École des beaux-arts, Amsterdam, Gerrit Rietveld, 1959. Ancêtre de la façade double peau

63 Cf. 62 : détail de façade

64 Bâtiment de bureaux à Munich, Henn Architekten, 2003. Tour avec façade double vitrée (voir aussi p. 140)



65



66



67

un double vitrage pour les fenêtres de sa fabrique de Linz pour remédier à la condensation due à la forte humidité qui régnait à l'intérieur. Construire une façade vitrée double est cependant trop onéreux pour se justifier par le seul facteur énergétique – indépendamment du bruit ou d'une pression excessive du vent. Comme ceux des espaces tampons vitrés, les processus thermiques de ce système exigent une régulation précise. Adopté par pure esthétique, ce type de façade a souvent été décevant de par ses effets: il n'est effectivement pas rare qu'il soit la cause de surchauffe, de maintenance coûteuse et d'augmentation de la consommation en énergie.

Les bâtiments d'activités ont souvent une très grande charge thermique interne en raison du nombre plus important de personnes qu'ils abritent, de l'éclairage artificiel, mais aussi des machines et des appareils. Les surfaces vitrées nécessaires à l'éclairement naturel peuvent augmenter la chaleur par l'effet du rayonnement solaire direct. Les immeubles sont, de plus, utilisés au moment des heures les plus chaudes de la journée. Tous ces facteurs réunis expliquent les mauvaises conditions de travail, surtout en été, ce qui entraîne à nouveau des dépenses énergétiques importantes en matière de climatisation. Les influences négatives peuvent néanmoins être maîtrisées par des mesures prises lors de

la conception. Celles-ci peuvent être rangées en deux catégories :

- mesures de prévention des risques de surchauffe, dispositifs de protection solaire pour l'été (souvent aussi pour l'hiver), optimisation de l'éclairage naturel et artificiel
- mesures permettant l'évacuation des chaleurs excessives, surtout par divers moyens de ventilation naturelle, mais aussi par l'inertie assurée par la masse du bâtiment

#### *Protection solaire*

Le rayonnement solaire en été est une des principales causes de surchauffe. Il peut être évité par diverses mesures de protection solaire. Le type de dispositif dépend surtout de l'orientation des ouvertures. Les fenêtres orientées au sud sont les plus faciles à protéger du soleil d'été qui est haut dans le ciel. Les puits de lumière et les surfaces vitrées situées sur des toits-terrasses ou des toitures en pente nécessitent une grande attention. L'orientation à l'est ou à l'ouest pose aussi des problèmes en raison du rayonnement solaire perpendiculaire par rapport aux fenêtres aux premières et dernières heures de la journée.

Selon l'orientation des fenêtres, les pare-soleil doivent tenir compte de la direction des rayons et ne pas entraver l'éclairage naturel. Ces dispositifs peuvent arrêter le rayonnement direct, éviter l'éblouissement et, en même temps,

65 École Atenea à Mairena del Aljarafe, Séville, SAMA, J. Lopez de Asaín, 1991. Pare-soleil préfabriqués en béton armé

66 École d'architecture à Lyon, France, Françoise-Hélène Jourda, 1987

67 Cf. 66: toiles tendues en guise de pare-soleil



68



69



70

71



68 Bâtiment de bureaux à Wiesbaden, Herzog + Partner, 2003. Pare-soleil servant aussi d'élément d'orientation de la lumière (voir aussi p. 146)

69 Cf. 68: bureau

70 École à Pichling, Autriche, Loudon + Habeler, 2003. Éclairage des deux côtés d'une salle de classe grâce à des impostes vitrées donnant sur l'espace central de distribution (voir aussi p. 170)

71 Cf. 70: salle de classe

assurer un meilleur éclairage en profondeur de la pièce. La position du soleil varie au fil de la journée et de l'année. De même, l'influence qu'il exerce dépend des intempéries. Pour en tenir compte, les dispositifs solaires doivent pouvoir s'adapter aux différentes situations. Les systèmes réglables ne sont pas seulement plus coûteux; ils posent aussi la question de leur manipulation (automatique ou manuelle). À l'inverse, ceux qui sont fixes exigent une détermination précise des heures au cours desquelles ils doivent protéger du soleil: ils doivent donc être conçus au cas par cas.

En principe, les dispositifs élémentaires comme les haies, les pergolas ou les arbres sont insuffisants et ne sont bien sûr pas réglables à volonté.

#### *Éclairage naturel et artificiel*

L'utilisation de la lumière du jour relève plus de l'architecture que du génie climatique. Une bonne répartition permet des économies d'énergie et réduit donc la chaleur émise par l'éclairage artificiel. Avant tout, la lumière du jour constitue un aspect décisif de la conception architecturale de l'espace: elle participe au confort visuel des usagers.

Bien qu'elle soit suffisante, de nombreux bâtiments doivent, au cours des journées claires, lutter contre l'éblouissement sur les écrans d'ordinateur; il devient alors indispensable de diriger la lumière ou d'orienter le rayonnement solaire, ce qui permet aussi une meilleure répartition de celle-ci dans la pièce. Les éléments prévus à cet effet ne doivent, par contre, pas modifier la qualité de la lumière, surtout pas sa couleur. Plus on s'éloigne de la fenêtre, plus l'intensité de la lumière du jour diminue. Pour des hauteurs sous plafond et des surfaces vitrées courantes, la lumière naturelle permet un éclairage sur une profondeur maximale de 6 mètres. Avec des dispositifs d'orientation de la lumière, la répartition lumineuse peut être améliorée, mais la profondeur éclairée n'augmentera que modestement. Des espaces plus profonds situés dans des bâtiments compacts devront alors bénéficier d'un éclairage artificiel complémentaire.

Il existe néanmoins d'autres moyens pour faire profiter les espaces profonds de l'éclairage naturel: par exemple les lanterneaux, les puits de lumière, les cours intérieures ou les atriums. Pour ces éléments, il faudra néanmoins être attentif à la protection solaire en l'été.

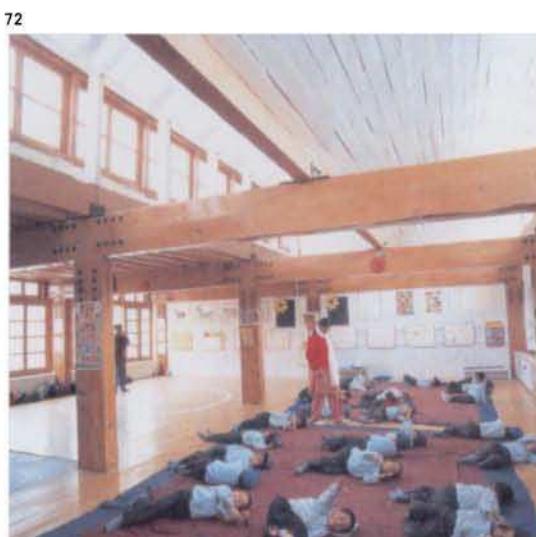
L'optimisation d'un système d'approvisionnement en énergie consiste à minimiser la dépense en énergie et à exploiter son potentiel de façon maximale, autrement dit à réduire les déperditions liées à la transformation et au transport.

Dans le cas de l'énergie électrique, il convient d'évaluer de manière critique la demande réelle. En plus de l'emploi d'appareils électriques et d'éclairage à basse consommation, il faudrait trouver des alternatives à l'utilisation de l'énergie électrique (exploitation de la lumière du jour, ventilation naturelle en été, réduction des moyens de transport mécaniques).

Dans les bâtiments d'activités, la quantité d'énergie utilisée pour l'éclairage est très importante. Des économies considérables sont possibles dans ce domaine. Il faudrait à cet égard privilégier les luminaires et les lampes à fort rendement lumineux, éclairement efficace et faible consommation. Un éclairage individualisé des postes de travail permet de réduire l'éclairage général car l'utilisateur peut moduler l'éclairage de son plan de travail.

L'éclairage artificiel devrait être conçu comme un complément à l'éclairage naturel. Les dispositifs de régulation lumineuse permettent une adaptation de l'éclairage artificiel à l'éclairage naturel et une homogénéité du niveau d'éclairage. Grâce à eux, on peut aussi gérer séparément des secteurs aux niveaux d'éclairage naturel différents.

Sans parler des progrès technologiques des lampes, luminaires et autres appareillages, on peut réduire de 30 à 50% les dépenses d'éclairage grâce à une conception réfléchie et à une régulation de la lumière au fil de la journée.



72 Bâtiment de bureaux à Munich. Henn Architekten, 2003. Eclairage d'un bureau des deux côtés grâce à une cour intérieure vitrée (voir aussi p. 140)

73 École à Ladakh, Ove Arup, 2001. Des espaces profonds sont éclairés par des fenêtres hautes en bandeau (voir aussi p. 188).

74 Immeuble de bureaux et de logements à Schwarzbach, Vorarlberg, H. Kaufmann, Ch. Lenz, 1999. L'éclairage naturel est complété par un éclairage individuel des postes de travail (voir aussi p. 122).



77

75 École à Gelsenkirchen, plus+ Bauplanung, Hübner, 2004.  
Ventilation par convection naturelle du hall grâce à une cheminement de ventilation (voir aussi p. 182)

76 Cf. 75: hall commun

77 Immeuble de bureaux et de logements à Wiesbaden, A-Z Architekten, 2002. Le béton laissé apparent permet un lissage des pics de température (voir aussi p. 68).



75

76



### *Ventilation et climatisation*

Lorsque la température intérieure dépasse celle de l'extérieur, l'excédent de chaleur peut être évacué par la ventilation – de façon naturelle ou mécanique. La ventilation transversale représente le meilleur moyen d'évacuation de la chaleur. Pour cela, il faut prévoir des ouvertures de part et d'autre de la pièce. Ce type de ventilation nécessite, pour des bâtiments profonds et compacts, une liaison des différents secteurs, par exemple par des impostes. Les ouvertures de ventilation doivent être positionnées de telle sorte que le courant d'air traverse surtout les espaces produisant une chaleur importante (par exemple les appareils) ou les locaux plus vite exposés à la chaleur. Ces courants d'air sont à éviter à hauteur des plans de travail.

La ventilation par convection offre une autre possibilité. Avec la convection naturelle, l'air chaud monte et est remplacé par de l'air frais. Ce système est particulièrement adapté pour les espaces de grande hauteur; plus la différence de hauteur entre l'aménée d'air et l'extraction est importante, meilleur sera le taux de renouvellement.

Les variations quotidiennes de température peuvent être mises à profit par la ventilation nocturne pour rafraîchir la masse du bâtiment. Celle-ci permet de stocker les chaleurs excessives de la journée. Pour que l'air extérieur soit dirigé vers les parties massives du bâtiment, la position et la forme des fenêtres sont déterminantes.

L'exploitation de la charge thermique et des variations de température dépend en grande partie de la capacité thermique des éléments du bâtiment. Cette capacité est assurée par des parties lourdes et massives. Plus les variations de température sont grandes, plus la masse d'inertie sera déterminante. Une construction massive peut atténuer les pics de température et donc réduire les besoins en chauffage ou en climatisation.

### *Activation thermique des éléments du bâtiment*

Les éléments massifs peuvent en plus être chauffés ou rafraîchis pour favoriser l'équilibre thermique d'un volume. C'est ce que l'on appelle l'« activation thermique » des éléments

du bâtiment; elle est obtenue par des mesures passives (par exemple la ventilation) ou actives. Même pour sa mise en œuvre sur un mode actif, il est possible d'utiliser les énergies renouvelables (énergie solaire, géothermie).

Pour les bâtiments de bureaux, le cloisonnement se fait, hélas, avec des matériaux légers pour des raisons de flexibilité. Les éléments porteurs massifs (parois, dalles) sont souvent recouverts par des constructions secondaires (faux plafonds, revêtements de sol). Dans le cas d'une activation thermique, les surfaces de ces éléments massifs ne doivent pas être recouvertes. Si elles sont laissées apparentes, les qualités acoustiques des surfaces réfléchissantes seront compensées par des matériaux absorbants.

Les problèmes posés par les bâtiments d'activités ne concernent pas seulement l'immeuble lui-même. Les édifices isolés doivent toujours être appréhendés dans leur contexte urbain. Comparables aux maisons individuelles du point de vue typologique, les bâtiments d'activités sont d'un volume bien supérieur, ce qui leur assure un rapport surface/volume bien meilleur et donc un avantage en matière de construction énergétiquement efficace. Toutefois, la desserte, l'imperméabilisation des sols et l'approvisionnement restent ici aussi des points négatifs.

### *Fonctions mixtes*

À l'opposé de la tendance passée prônant la séparation des fonctions et la relégation hors des villes des bâtiments d'activités, dans des zones d'activités anonymes, l'heure est aujourd'hui à la mixité des fonctions. On espère de la sorte optimiser l'utilisation et l'exploitation des terrains en ville et des infrastructures, ce qui aura un impact majeur en matière d'économies d'énergie. L'autre avantage de cette mixité réside dans l'effet de synergie lié aux divers besoins énergétiques. Les bâtiments d'activités consomment une grande quantité d'énergie sur de courtes périodes, ce qui conduit à une utilisation irrégulière du réseau d'approvisionnement. Ils ont d'importants besoins en énergie pour l'éclairage et les activités qui s'y déroulent, sachant que le chauffage est en règle générale assuré par la production de chaleur interne. Or c'est tout l'inverse dans le logement.



78

79



Cette situation encourage le recours à des centrales de cogénération qui produisent l'électricité nécessaire au fonctionnement du bâtiment tandis que la chaleur d'échappement est utilisée pour le chauffage des bâtiments d'habitation voisins. Outre l'effet de synergie, les pertes liées au transport sont aussi minimisées. Du point de vue ensoleillement, une mise en réseau des fonctions au niveau urbanistique garde tout son intérêt. Des terrains à l'ombre peuvent être utilisés pour implanter des immeubles d'activités, ce qui entraînera une augmentation de la densité urbaine.

#### Bâtiments culturels énergétiquement efficaces et équipements publics : spécificités

Le statut de bâtiment modèle des équipements culturels incite davantage à servir d'exemple en matière de valorisation de l'énergie qu'à atteindre des économies réelles.

Le fonctionnement particulier du bâtiment détermine avant tout la mise au point du concept énergétique. Des études sur la qualité de l'air dans les écoles ont montré qu'une ventilation naturelle ne peut assurer un renouvellement suffisant de l'air (SIA, 1992). Les conséquences en sont des problèmes de concentration et des baisses de performance. Une ventilation contrôlée ne représente donc pas dans ce cas des avantages sur le seul plan énergétique.

On évoque dans ce domaine surtout les constructions neuves. Or les bâtiments existants jouent un rôle bien plus essentiel; la majorité d'entre eux datent de plus de 30 ans et nécessitent une remise en état, notamment les écoles et maternelles des années 1960 et 1970.

Les immeubles de cette période sont en règle générale linéaires; leur construction est élémentaire et leurs locaux polyvalents. Ainsi sont réunies les conditions optimales, sur les plans constructif et fonctionnel, pour une réhabilitation énergétique.

Malgré leur importance, les équipements culturels et les musées sont rarement conçus en tenant compte de leur performance énergétique. Ces bâtiments doivent satisfaire à des exigences énergétiques très complexes: il leur fait

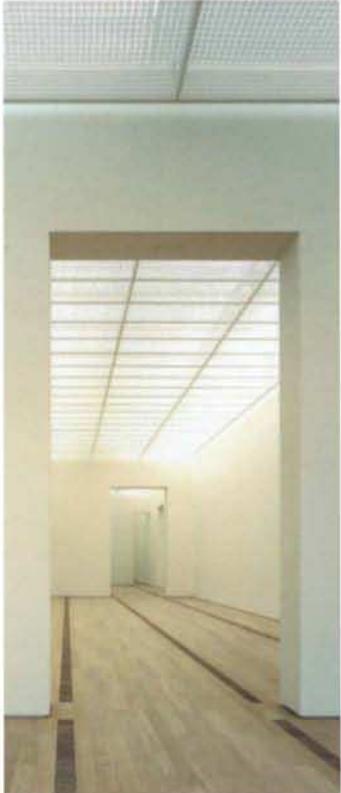
78 Immeuble de logements et de bureaux, Martin Pool, 2004. Les appartements occupent les étages supérieurs et bénéficient ainsi d'un meilleur ensoleillement (voir aussi p. 62).

79 Réhabilitation énergétique et restructuration d'une école maternelle des années 1970 à Lochham, Pollok + Gonzalo, 2003. En plus d'une diminution importante de la consommation énergétique, l'éclairage naturel a été optimisé.

80 Résidence pour personnes âgées à Lautertal, Titting, Hans Nickl, 1993. Effet spatial apporté par l'éclairage naturel



80



81



82



83

garantir un confort intérieur pour les visiteurs et le personnel, mais aussi pour les objets exposés. On doit se soucier en même temps de la température, du degré d'hygrométrie, de l'éclairement, des dispositifs de protection solaire et de la qualité de la mise en valeur des pièces. Une conception énergétiquement efficace est indispensable pour minimiser les dépenses liées à l'équipement technique du bâtiment et aux coûts de fonctionnement.

Les musées occupent la plupart du temps des bâtiments historiques. Une rénovation technique est au moins aussi importante que les travaux pour une construction neuve. Les mesures de réhabilitation doivent respecter les règlements de protection du patrimoine. Les nouveaux matériaux et les progrès réalisés par l'équipement technique sont à cet égard d'un grand secours. Les panneaux isolants sous vide (PIV), par exemple, permettent d'atteindre une bonne isolation thermique avec seulement quelques millimètres d'épaisseur et conviennent aux endroits qui n'acceptent pas les sections de construction habituelles. Des murs épais et massifs peuvent toutefois contribuer à équilibrer les conditions de confort car leur masse thermique permet le lissage des températures et soulage ainsi le chauffage et l'installation de climatisation.

Outre les espaces d'exposition, les musées et bâtiments culturels abritent aussi diverses activités comme des boutiques, des restaurants, des locaux pour la recherche, l'administration, des salles de réunion, des locaux sociaux, etc. Du point de vue énergétique, leurs exigences sont bien entendu très différentes. La plupart de ces locaux ont les mêmes critères que les bureaux.

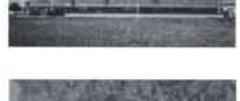
La conception énergétiquement efficace d'un bâtiment exige de considérer les différents facteurs d'un système en réseau dont les interactions sont parfois complexes. Comme le montrent les nombreux exemples choisis, un champ inépuisable de possibilités s'offre aux concepteurs pour donner forme à l'environnement bâti.

81 Kunstmuseum de Riehen, Suisse, Renzo Piano Building Workshop, 1997-2000

82 Cf. 81 : toiture vitrée pour l'éclairage naturel (voir aussi p. 194)

83 Museo Romano à Mérida, Espagne, Rafael Moneo, 1984. Des lamelles de béton situées au-dessus des grandes fenêtres zénithales reflètent et répartissent la lumière tout en servant de pare-soleil.

# CONCEPTION DE BÂTIMENTS ÉNERGÉTIQUEMENT EFFICACES : EXEMPLES

<b>Réhabilitation au standard basse énergie et maison passive</b>	<b>Résidence universitaire à Wuppertal</b>	PPP Müller Schlüter	
<b>Utilisation flexible</b>	<b>Bâtiment d'habitation et de bureaux à Schwarzach</b>	Lenz Kaufmann, Schwarzach	
<b>Système voisin de la maison passive</b>	<b>Immeuble de bureaux et de logements à Sursee</b>	Scheitlin-Syfrig + Partner, Lucerne	
<b>Façades différencierées</b>	<b>Complexe de bureaux à Duisbourg</b>	Schuster Architekten, Düsseldorf	
<b>Ventilation naturelle d'une tour</b>	<b>Bâtiment de bureaux à Munich</b>	Henn Architekten, Munich	
<b>Projection d'ombre et guidage de la lumière</b>	<b>Complexe de bureaux à Wiesbaden</b>	Thomas Herzog + Partner, Munich	
<b>Immeuble de bureaux durable</b>	<b>Bâtiment du Parlement à Londres</b>	Hopkins Architects, Londres	
<b>Écologie intégrée</b>	<b>Bureaux et ateliers à Weidling</b>	Georg W. Reinberg, Vienne	
<b>Bâtiment d'entreprise au standard passif</b>	<b>Immeuble d'activités à Steyr</b>	Walter Unterrainer, Feldkirch	
<b>Établissement scolaire au label basse énergie</b>	<b>École de Pichling</b>	Loudon + Habeler, Vienne	
<b>Bâtiment scolaire au standard passif</b>	<b>École Montessori à Aufkirchen</b>	Walbrunn Grotz Vallentin Loibl, Bockhorn	
<b>Projet de construction participatif</b>	<b>Collège à Gelsenkirchen</b>	plus+ bauplanung, Hübner, Neckartenzlingen	
<b>Réponse à des conditions extrêmes</b>	<b>Établissement scolaire à Ladakh</b>	Arup Associates, Londres	
<b>Système d'éclairage naturel réglable</b>	<b>Musée d'art à Riehen</b>	Renzo Piano Building Workshop, Paris/Gênes	

## Réhabilitation au standard basse énergie et maison passive : résidence universitaire à Wuppertal

Architectes :

1<sup>re</sup> tranche : PPP en collaboration avec Michael Müller

et Christian Schlüter, Düsseldorf

2<sup>e</sup> tranche : Architektur Contor Müller Schlüter, Wuppertal



1

### Informations sur le projet:

Livraison :

1<sup>re</sup> tranche : 2000

2<sup>e</sup> tranche : 2003

SHON : 17 200 m<sup>2</sup>

SHOB : 20 000 m<sup>2</sup>

Volume du bâtiment :

56 500 m<sup>3</sup>

Consommation d'énergie pour le chauffage :

1<sup>re</sup> tranche : 68,1 kWh/m<sup>2</sup>/an

2<sup>e</sup> tranche : 15,0 kWh/m<sup>2</sup>/an

Coefficient U fenêtre

1<sup>re</sup> tranche : 1,56 W/m<sup>2</sup>.K

(cadre : 1,6, vitrage : 1,1)

facteur solaire g : 62 %

2<sup>e</sup> tranche : 0,82 W/m<sup>2</sup>.K

(cadre : 0,75, vitrage : 0,7)

facteur solaire g : 53 %

Épaisseur isolant chêneau

1<sup>re</sup> tranche : 18 cm

2<sup>e</sup> tranche : 28 cm

Épaisseur isolant pignon

1<sup>re</sup> tranche : 14-19 cm

2<sup>e</sup> tranche : 25-30 cm

Épaisseur isolant toiture et sous-face étage de logements au-dessus de l'étage-sous-basement :

1<sup>re</sup> tranche : 18 cm

2<sup>e</sup> tranche : 28 cm

Avec 600 logements, la résidence universitaire Burse de Wuppertal est l'une des plus importantes d'Allemagne. Construite en 1977, elle a connu avec le temps, outre des dysfonctionnements, d'importants désordres de construction. Cela venait s'ajouter à une installation technique totalement vétuste et à une isolation de la façade à la fois insuffisante et devenue perméable. Le problème fonctionnel était le suivant : l'installation technique centrale se situait au-dessus de l'unique ascenseur et de la cage d'escalier à peine éclairée. Chaque bloc sanitaire était prévu pour 32 occupants, ce qui était bien sûr tout à fait insuffisant. En raison de son manque d'attractivité, le bâtiment a donc été délaissé. Les rares entrées peu accueillantes, avec leurs énormes boîtes aux lettres, incitaient au vandalisme. Il fallait trouver un remède pour éviter les troubles sociaux.

Une étude menée par les architectes retenus a préconisé de comparer les coûts d'une reconstruction complète et les frais à engager pour une réutilisation de la structure porteuse existante avec d'éventuelles démolitions partielles. Le résultat a été surprenant : avec une économie possible de près de 25%, la réhabilitation

est bien plus avantageuse. La décision essentielle au moment de la conception consistait alors à détruire le noyau central en piteux état et à le remplacer par deux nouveaux noyaux de distribution. La rénovation des installations et des logements a été réalisée en deux tranches avec deux standards de construction différents. Alors que la première tranche avait visé avec succès une norme « basse énergie », il était dès lors possible d'oser passer, dans la seconde tranche, à celle de « maison passive ». Il a fallu calculer avec précision le coût d'investissement d'une installation de ventilation et le confronter au coût d'exploitation estimé.

Au début des travaux, les éléments préfabriqués de façade en piteux état ont été déposés et le bâtiment vidé en totalité. Dans la structure prévue à murs de refend, les fonctions ont été réorganisées ; une majorité de logements individuels comprenant une cellule-douche avec lavabo et une kitchenette prennent la place des secteurs pour 32 personnes.

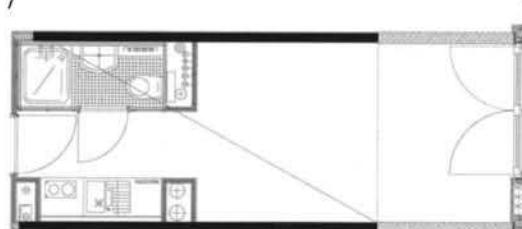
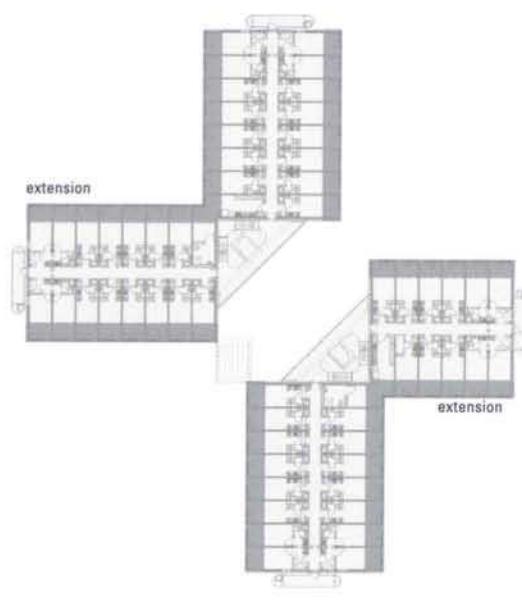
La nouvelle infrastructure moderne prévoit aussi une liaison avec le centre informatique de l'université.



Le prolongement d'environ deux mètres de la structure porteuse a permis le gain de surface indispensable. Le cadre placé devant le bâtiment pouvait et devait également reprendre le rôle de contreventement assuré par l'ancien noyau des ascenseurs et de la cage d'escalier. Les équipements collectifs, situés jusque-là au centre de l'immeuble étaient devenus inutiles. Deux nouvelles cages d'escaliers vitrées en totalité occupent l'espace libéré entre les deux moitiés du bâtiment. Le verre de protection contre les intempéries définit un espace facile à appréhender par le regard et offrant de grandes qualités pour la communication. Du point de vue climatique, il est traité comme un espace extérieur.

Le grand bâtiment, particulièrement confus et peu accueillant à l'intérieur, a fait place à un nouvel ensemble fluide composé de deux ailes de logements lisibles avec des dessertes agréables.

On accède à la partie «chauffée» des logements depuis les cages d'escalier froides. Sur le plan des standards thermiques et des installations de chauffage et de ventilation, on a



1 Vue avec l'accès au parc

2 Plan de l'existant

3 Façade de l'existant

4 Ascenseur et cage d'escalier existants

5 Chambre existante

6 Chambre existante, fenêtre

7 Plan de principe de la réhabilitation, sans échelle

Malgré les différences d'orientation et de conditions d'ensoleillement, on est parvenu à satisfaire aux normes basse énergie et maison passive.

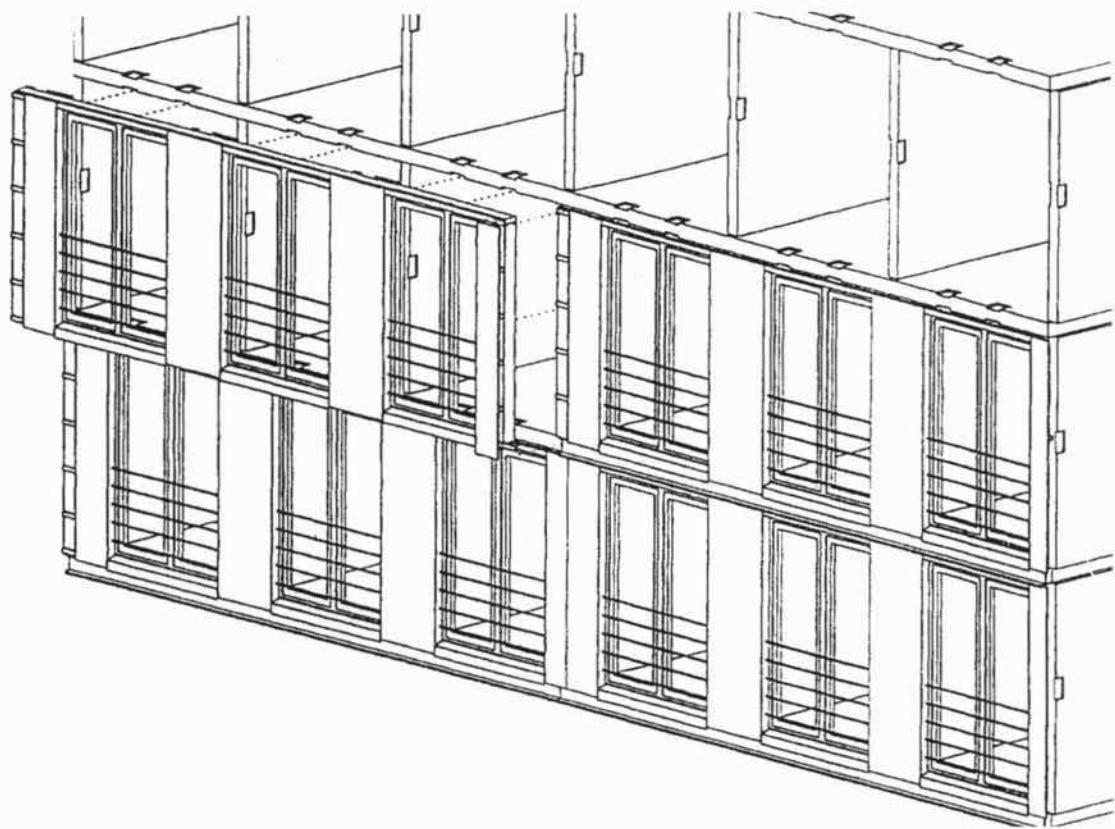
8 Plan d'un nouveau logement individuel avec cellule-douche et kitchenette, sans échelle



9



10



11

traité les deux tranches de façon différente. La première a été réalisée selon le standard basse énergie et la seconde selon le standard passif. Ces variantes au sein d'un même ensemble avec des utilisations identiques rendent le projet intéressant pour un examen et une analyse scientifiques. Dès la mise en service, des collaborateurs de l'université de Wuppertal ont saisi les nombreuses données du monitoring pour pouvoir, d'une part, rendre compte du comportement des utilisateurs et, d'autre part, établir des repères pour effectuer des ajustements éventuels sur les installations techniques. Ces observations devront durer trois ans.

Le volume compact du bâtiment a été complètement habillé de panneaux de bois suspendus. La façade est constituée d'éléments préfabriqués de 12 m de long. Ces éléments très isolés comprennent, en plus des revêtements intérieur et extérieur, les blocs-fenêtres incluant une protection antichute. Cette préfabrication a

permis non seulement de réduire de beaucoup la durée du chantier mais permettra aussi de réutiliser ces éléments le cas échéant car ils sont démontables.

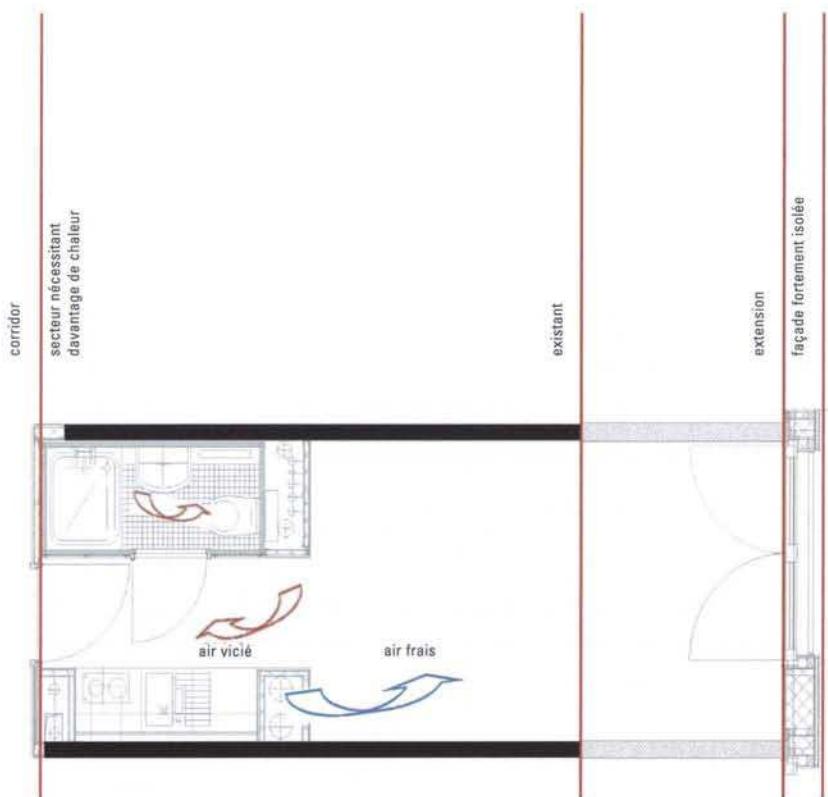
Il faut insister sur la nette amélioration de la qualité d'exécution, sachant que l'excellente étanchéité des joints est essentielle pour l'efficacité énergétique. Ainsi a-t-il été possible de réduire sur le chantier le nombre de joints à réaliser. Les déperditions de chaleur par transmission ont pu être facilement évitées. Le gestionnaire a pu enregistrer, dès la première période de chauffage, une réduction significative des besoins en chauffage pour la première tranche réalisée.

En fait, les façades étanches et l'aération parfois insuffisante de la part des utilisateurs ont entraîné des difficultés – pas vraiment inattendues – pour l'hygiène du bâtiment. Une ventilation mal maîtrisée par les utilisateurs peut

9 Fenêtre de la première tranche de réhabilitation avec la norme basse énergie; l'étroit volet ouvrant de ventilation est caractéristique.

10 Photo de chantier: extension de la structure de murs porteurs

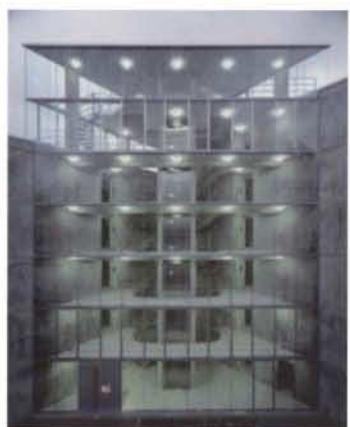
11 Isométrie: extension de la structure en murs porteurs avec les éléments de façade préfabriqués de 12 m de large



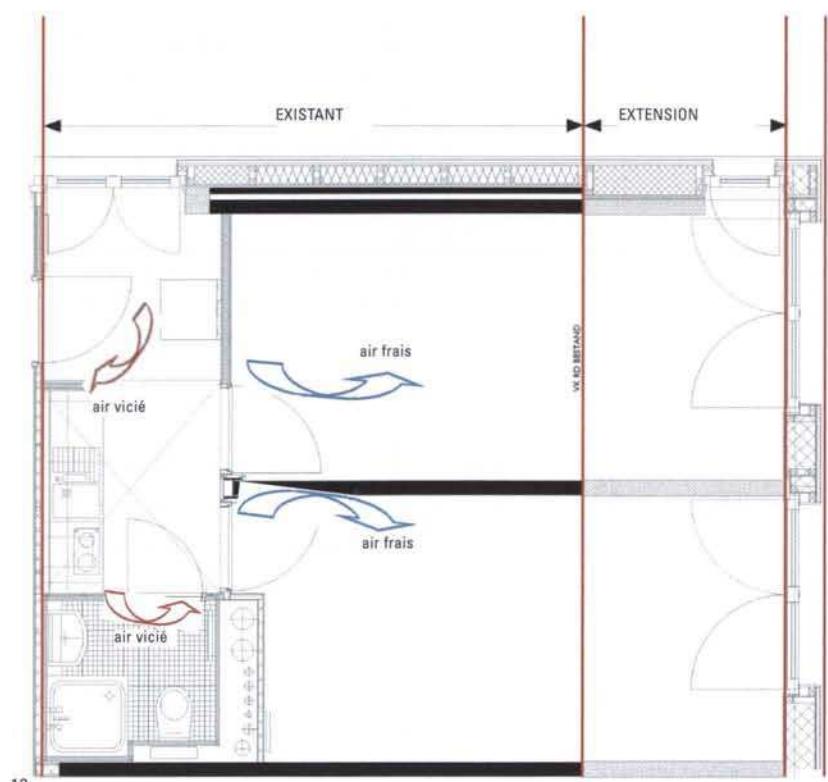
L'espace supplémentaire destiné aux blocs sanitaires des appartements a été créé par une extension de 2 m environ.



13



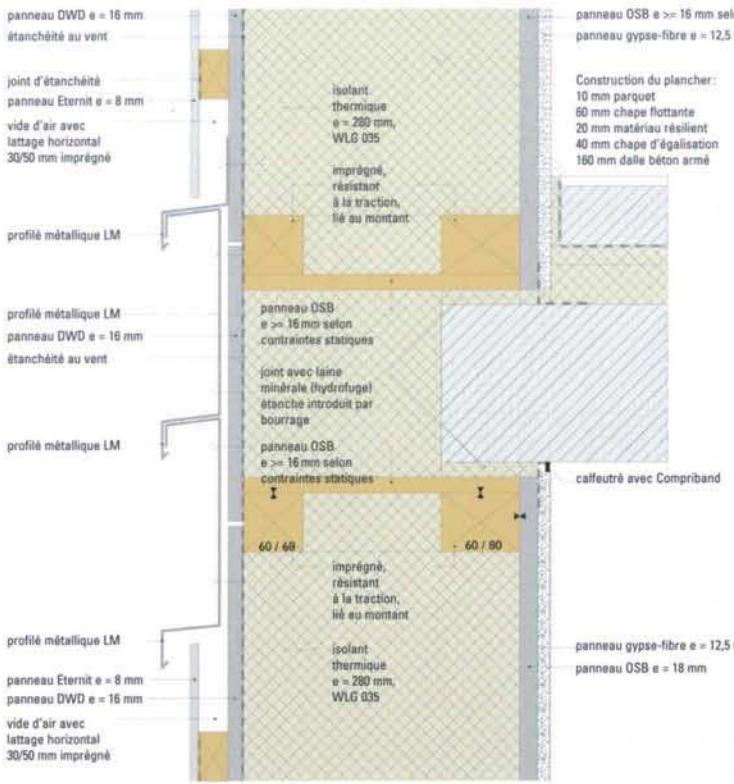
14



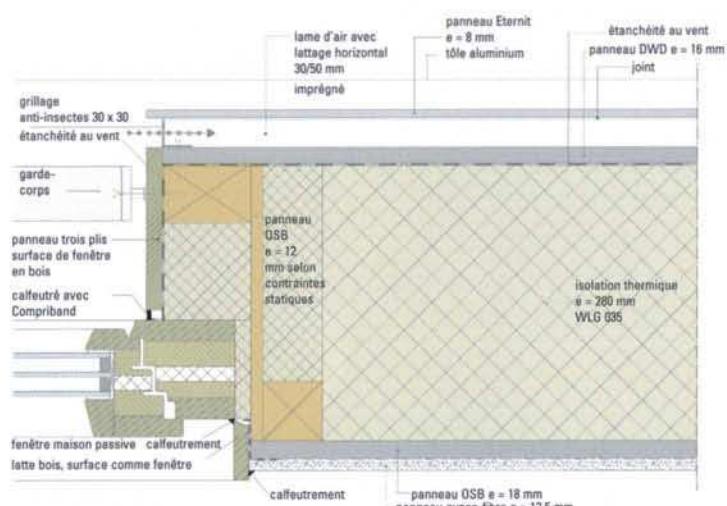
12 Détail de plans d'exécution remaniés, sans échelle, avec schéma des fonctions de ventilation contrôlée

13 Vue de la nouvelle distribution avec l'ascenseur et la cage d'escalier: une « véranda » protégée des intempéries par une grande surface vitrée

14 Cf. 13: vue avec l'éclairage au crépuscule



15



causer des déperditions thermiques inutiles. Cette expérience a été en toute logique suivie par la décision de prévoir pour la seconde tranche une installation qui assurerait, par une VMC, une hygiène atmosphérique réglable, ne nécessitant pas l'intervention des étudiants. Cette décision a, en outre, été complétée par une étude de faisabilité. Il a été prouvé qu'en se basant sur un taux de récupération de chaleur de 80%, l'investissement supplémentaire serait compensé par les économies de chauffage ainsi réalisées. Le passage au standard passif était dès lors devenu logique. Les coûts supplémentaires – de l'ordre de 10% – correspondaient aux rigoureux calculs de faisabilité économique montrant que ces mesures se justifiaient sur le long terme.

Le traitement de la façade se base sur l'existant. La structure du bâtiment (à murs de refend) reste visible. Aux extrémités du bâtiment, des balcons d'évacuation à claire-voie en acier se trouvent devant les vastes surfaces frontales recouvertes de panneaux de fibrociment. Les extrémités des couloirs restent ouvertes et reçoivent la lumière du jour – un moyen d'orientation essentiel pour la desserte du bâtiment. La coupe verticale ci-contre montre bien le traitement bien étudié des joints entre les éléments. Au niveau des dalles en béton armé, l'espace intermédiaire a été rendu étanche par de la laine minérale hydrofuge: la façade très bien isolée offre donc une continuité d'étanchéité. Un bardage de tôles d'alliage léger offre la possibilité de structurer la surface. La coupe horizontale montre l'intégration en tant qu'élément de façade des fenêtres de maisons passives certifiées et déjà disponibles dans le commerce. Là non plus, on n'a pas renoncé à échelonner les profilés, ce qui était important pour le traitement plastique de la façade.

- 15 Coupe verticale de la façade au niveau du plancher de la seconde tranche avec une isolation de 28 cm pour le standard passif, sans échelle. Construction depuis l'extérieur : panneau de fibrociment avec vide d'air, fixé sur lattage bois, panneau DWD 16 mm, voile étanche, isolant thermique 280 mm, panneau OSB 18 mm, panneau gypse-fibre 12,5 mm

- 16 Coupe horizontale de la façade avec intégration d'un module de fenêtre de maison passive, sans échelle**

- #### **17 Façade de la seconde tranche, désormais sans ouvrant de ventilation**



## **Utilisation flexible: bâtiment d'habitation et de bureaux à Schwarzach**

Architectes:  
Christian Lenz, Hermann Kaufmann,  
Schwarzach



### Informations sur le projet:

Livraison: 1999  
SHON: 1 390 m<sup>2</sup>  
SHOB: 1 670 m<sup>2</sup>  
Volume du bâtiment:  
4 220 m<sup>3</sup>

Consommation  
d'énergie pour le chauffage  
des bureaux:  
23 kWh/m<sup>2</sup>/an

Logements:  
10 kWh/m<sup>2</sup>/an

Coefficient U toiture:  
0,11 W/m<sup>2</sup>.K

Coefficient U mur extérieur:  
construction légère 0,12 W/m<sup>2</sup>.K

Coefficient U plancher  
rez-de-chaussée contre la  
terre: 0,19 W/m<sup>2</sup>.K

Coefficient U vitrage:  
0,6 W/m<sup>2</sup>.K

À la périphérie de Schwarzach, dans un secteur d'habitat épars typique du Vorarlberg, un bâtiment de 58 mètres de long à deux niveaux semble vouloir s'opposer au mitage engendré par les maisons isolées. Avec un niveau de bureaux surmonté d'un étage flottant en porte-à-faux comprenant des logements, le parallélépipède orienté nord-sud présente en outre une mixité de fonctions qui donne un caractère urbain à cet environnement rural. Une aire clôturée avec des installations sportives se trouve au sud.

L'enveloppe du niveau supérieur, revêtue de contreplaqué, flotte au-dessus du rez-de-chaussée en retrait. Des cages d'escaliers extérieures ouvertes rythment la façade nord sans jamais interrompre le volume compact chauffé. Les ouvertures en façade tiennent toujours compte par leur forme et leurs dimensions de l'orientation et de l'utilisation des locaux.

Les plans des logements sont clairement organisés: les pièces secondaires comme les salles de bains, cuisines et toilettes sont au nord tandis que les séjours, salles à manger et chambres sont regroupés au sud. Une vaste terrasse en saillie prolonge l'espace habitable disponible. La compacté maximale en est certes diminuée,

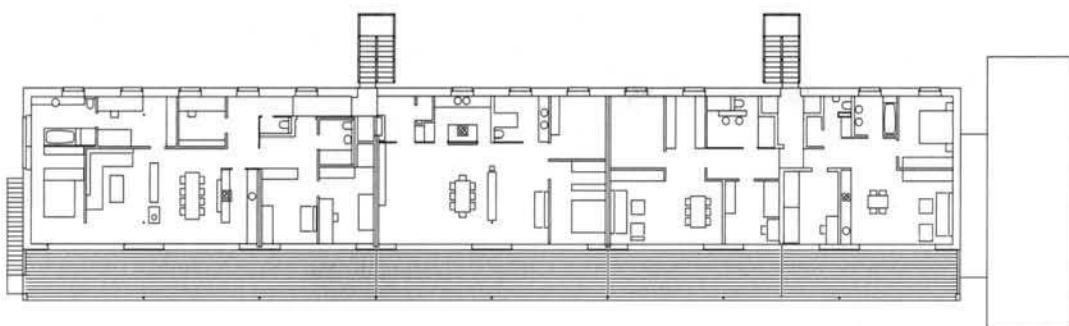
mais cela est compensé par d'autres avantages comme l'optimisation de l'ensoleillement hivernal et la protection du rez-de-chaussée contre les rayons du soleil en été.

Le type de construction retenu permet de prendre facilement en compte les souhaits individuels en matière de plans. Il est en effet possible de modifier le cloisonnement par la suite. Cette flexibilité concerne aussi tout le niveau inférieur de bureaux. Un système de cloisons légères facilite à court ou moyen terme l'adaptation aux nouveaux besoins, ce qui est un des aspects importants de la construction durable.

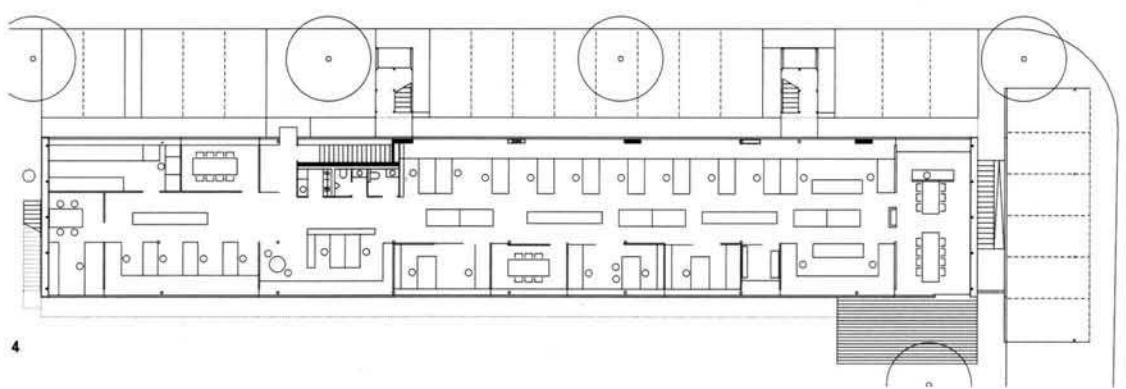
Bureaux et logements sont équipés d'une ventilation contrôlée et d'une chaudière à gaz pour assurer le chauffage complémentaire. La ventilation des logements et le chauffage fonctionnent de la manière suivante: l'air frais est capté par une bouche d'aspiration munie d'un préfiltre, traverse un réseau de tubes en plastique étanche enfoui à 1 mètre sous le niveau du radier – en hiver, la chaleur de la terre y est captée – puis est amené dans chaque logement par une gaine d'air neuf. Celui-ci est insufflé dans les pièces et amélioré au moyen d'une ionisation naturelle en fonction de la qualité de l'air.



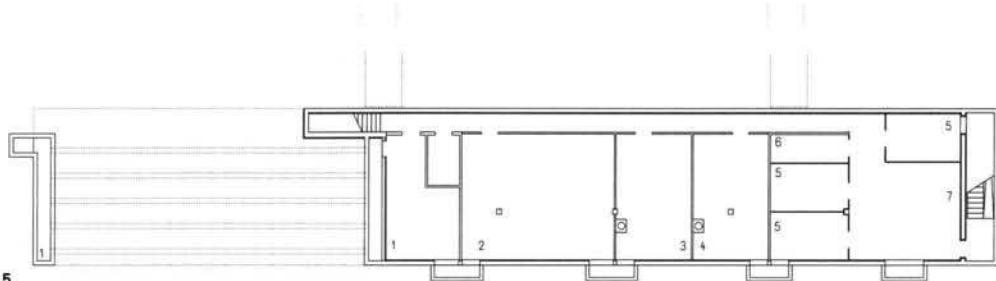
2



3

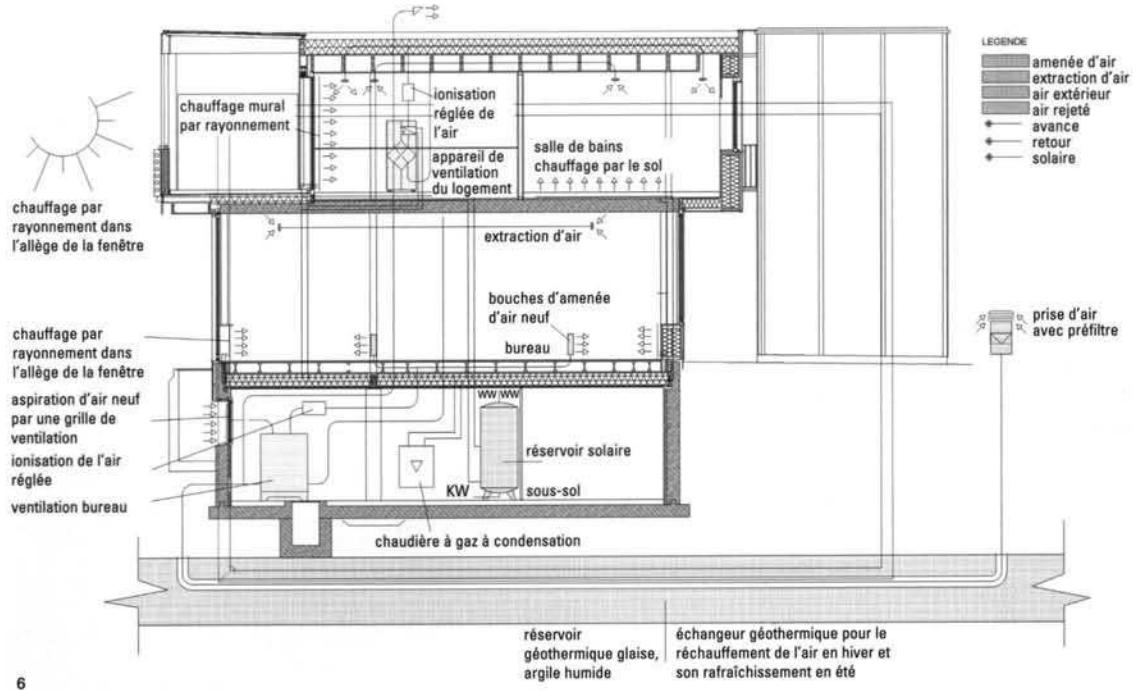


4



5

- 1 Plan de masse avec l'environnement, sans échelle
  - 2 Façade sud
  - 3 Plan étage avec trois logements individuels
  - 4 Plan rez-de-chaussée (bureaux)
  - 5 Plan sous-sol avec les locaux techniques et, sous la partie ne comprenant pas de sous-sol, un collecteur géothermique
- Plans sans échelle



7



8

Chaque logement est muni de son propre appareil de ventilation compact réglable avec récupérateur de chaleur, ventilateurs, filtre, réchauffeur d'air, commande par microprocesseur et télécommande. Le taux de renouvellement d'air est de l'ordre de 0,7 volume du logement par heure. L'air neuf capté par la ventilation est une nouvelle fois finement filtré et sa température augmentée par le réchauffeur d'air en fonction de la demande. Il est ensuite distribué dans la pièce par une bouche intégrée dans le plafond ou le mur. La vitesse de l'air est très faible – inférieure à 15 m/s dans les pièces principales. L'air vicié est extrait dans les salles de bains, les toilettes et la cuisine par des soupapes. Les portes des chambres ne doivent pas être hermétiques à l'air pour que celui venant des couloirs et des dégagements puisse aller vers les bouches d'extraction. Dans la cuisine des petits logements, une soupape d'extraction est placée près de la hotte aspirante, conçue elle aussi comme extracteur d'air. Dans les grands logements, la hotte aspirante fonctionne comme «extracteur d'air vicié».

Étant donné que la plupart des personnes souhaitent une température située entre 17 et 19 °C dans la chambre à coucher, il est possible de fermer l'arrivée d'air chaud. En remplacement de l'arrivée d'air neuf, on a prévu dans le mur extérieur une entrée d'air automatique qui

permet une circulation permanente d'air neuf réglable au moyen d'une soupape. Les fenêtres basculantes deviennent dès lors superflues : le rafraîchissement de la pièce est évité. L'entrée d'air automatique s'ouvre lorsque les températures extérieures sont comprises entre environ 0 et +16 °C. Au-delà, il est possible d'ouvrir les fenêtres et, en deçà, comme cette entrée est fermée, il faudra actionner la ventilation. L'air vicié sera conduit de l'appareil de ventilation jusqu'à la toiture en passant par un échangeur de chaleur.

On a installé un chauffage par le sol dans les salles de bains. Dans les séjours, un chauffage mural par rayonnement sert de complément pour les parties des parois extérieures critiques (grandes baies vitrées) au moment des périodes froides. L'énergie nécessaire pour les autres pièces est produite pour le moment par une chaudière à condensation à gaz. Tout autre moyen de production est ici envisageable. Chaque logement possède son propre compteur d'énergie thermique qui permet un relevé individuel comme pour l'eau froide ou l'eau chaude.

On peut réguler de façon individuelle la ventilation des logements. Chaque logement a un chauffage de base qui doit être maintenu en hiver. Pendant la nuit, il est possible de laisser passer un petit volume d'air et un plus important le jour.

6 Coupe avec indication des équipements techniques et une représentation schématique du collecteur géothermique : situé sous la partie ne comprenant pas de sous-sol, sans échelle  
7 Façade sud-est  
8 Façade ouest avec la prise d'air



9



10

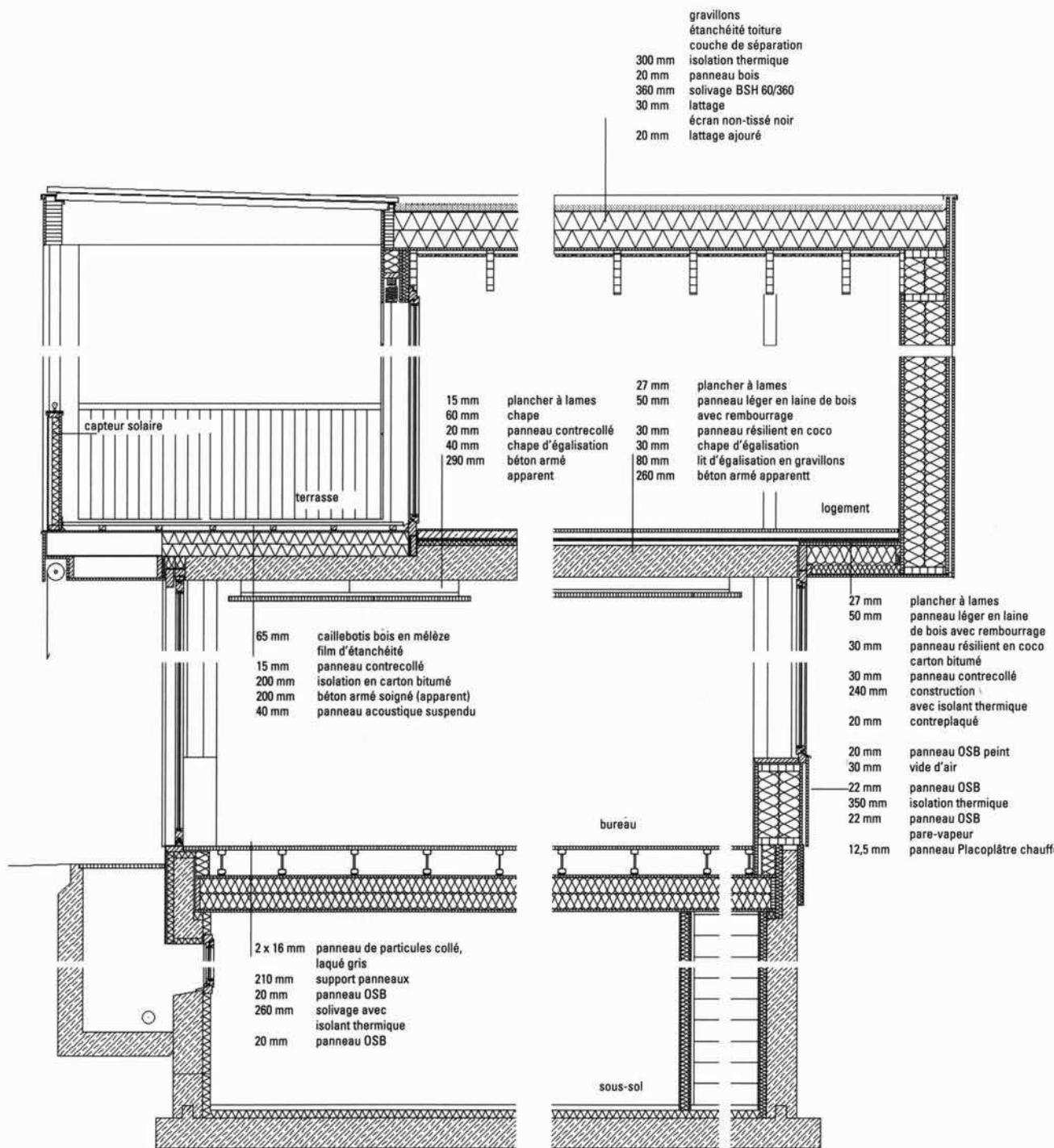


11

9 Montage des éléments de construction en bois préfabriqués

10 Vue sur le gros œuvre du rez-de-chaussée en chantier. On distingue les planchers doubles avec les installations : les diffuseurs d'air en partie centrale, la dalle de béton prévue comme masse d'inertie et l'aménagement intérieur modulaire en cloisons légères.

11 Vue sur le puits de ventilation avec les extrémités des gaines du collecteur géothermique





13

La température de la pièce est régulée par la télécommande reliée à une sonde. Étant donné que le système d'appoint n'a pas de réserve de puissance, la ventilation ne devrait pas être arrêtée en hiver durant la période de chauffage.

L'eau chaude sanitaire des logements et des bureaux provient d'une installation solaire intégrée dans le garde-corps de la terrasse. En hiver, les besoins en énergie complémentaire sont assurés par le gaz naturel.

Les bureaux sont chauffés et ventilés de la façon suivante: l'air neuf est aspiré par l'ensemble des prises d'air communes équipées de préfiltres. Il est ensuite introduit dans la pièce et amélioré par ionisation naturelle. L'appareil de ventilation capte, insuffle et fait circuler l'air; il est équipé d'un récupérateur de chaleur, de ventilateurs, de filtres et d'un réchauffeur d'air. L'air neuf entrant dans l'appareil est une nouvelle fois finement filtré, réchauffé en fonction des besoins par le réchauffeur d'air intégré et conduit par les gaines installées dans les cavités du plancher creux jusqu'aux bouches d'amenée d'air des bureaux.

L'échangeur thermique sol-air central sert, en hiver, de réchauffeur d'air et, en été, de rafraîchisseur. L'installation d'amenée d'air permet aussi de servir de chauffage, mais de façon limitée et ponctuelle. L'air vicié est rejeté en toiture.

L'air intérieur est à nouveau aspiré par l'appareil de ventilation au moyen d'un échangeur thermique à rotation et évacué à l'extérieur. En hiver, seul le volume d'air nécessaire du point de vue hygiénique est remplacé par de l'air neuf, le reste étant traité par ionisation et réintroduit dans la pièce comme air recirculé.

En été, la totalité de l'air passe par un échangeur géothermique pour être rafraîchi. Tous les bureaux sont équipés d'un chauffage par rayonnement à basse température situé dans les allèges des fenêtres. Cela apporte une très agréable chaleur par rayonnement pour les postes de travail et favorise la circulation d'air par l'installation d'amenée d'air. La ventilation des bureaux est réglable de façon individuelle et graduelle.

Une isolation renforcée et une mise au point détaillée de l'enveloppe sont les conditions nécessaires pour optimiser le fonctionnement énergétique du bâtiment décrit ci-dessus. Le soubassement est recouvert de plaques OSB avec un revêtement peint. Les cages d'escalier ouvertes sont tapissées de textiles et la totalité de leurs volumes est visible à l'extérieur. De l'intérieur, bien que légèrement filtrée, on a une vue sur l'ensemble. Un immeuble où l'on a voulu expérimenter des matériaux.

Les points constructifs essentiels figurent sur les coupes détaillées ci-contre. On attire surtout l'attention sur le faux plafond en bois à isolation renforcée au sous-sol sous un solivage permettant de passer facilement par la suite, si nécessaire, des gaines techniques. Le plancher-dalle de l'étage, par contre, a été volontairement construit en béton pour disposer d'une masse d'inertie assurant une régulation thermique et une optimisation de l'isolation acoustique entre les niveaux.

Les parois de l'étage sont en panneaux de bois, montés en quelques jours et fortement isolés (35 cm). Des poutres en douglas BSH soutiennent la toiture; elle a été construite comme une toiture chaude avec 30 cm d'isolant.



14



15

12 Coupe avec tous les éléments de toiture, planchers et murs: l'enveloppe extérieure compacte, continue et très bien isolée constitue la partie essentielle. Dans le garde-corps de la terrasse sont intégrés les capteurs solaires utilisés pour l'alimentation en eau chaude sanitaire.

13 Façade nord avec les cages d'escaliers saillantes, les ouvertures réduites à l'étage et le rez-de-chaussée en retrait. Les grandes surfaces vitrées assurent un éclairage naturel suffisant pour les bureaux.

14 Vue des bureaux: au plafond, les panneaux légers en laine de bois apparents améliorent l'acoustique sans réduire sensiblement les qualités d'inertie de la dalle en béton.

15 Bouche d'extraction d'air

## Système voisin de la maison passive: immeuble de bureaux et de logements à Sursee

Architectes:  
Scheitlin – Syfrig + Partner, Lucerne



1

### Informations sur le projet:

Livraison: 2002

SHON: 5 700 m<sup>2</sup>

SHOB: 5 920 m<sup>2</sup>

Volume du bâtiment:

20 940 m<sup>3</sup>

Consommation d'énergie  
pour le chauffage:  
24,4 kWh/m<sup>2</sup>/an

Coefficient U toiture plate:  
0,19 W/m<sup>2</sup>.K

Coefficient U mur extérieur:  
0,18 W/m<sup>2</sup>.K

Coefficient U plancher  
rez-de-chaussée au-dessus  
du sous-sol: 0,20 W/m<sup>2</sup>.K

Coefficient U sol au-dessus  
du vide d'air: 0,13 W/m<sup>2</sup>.K

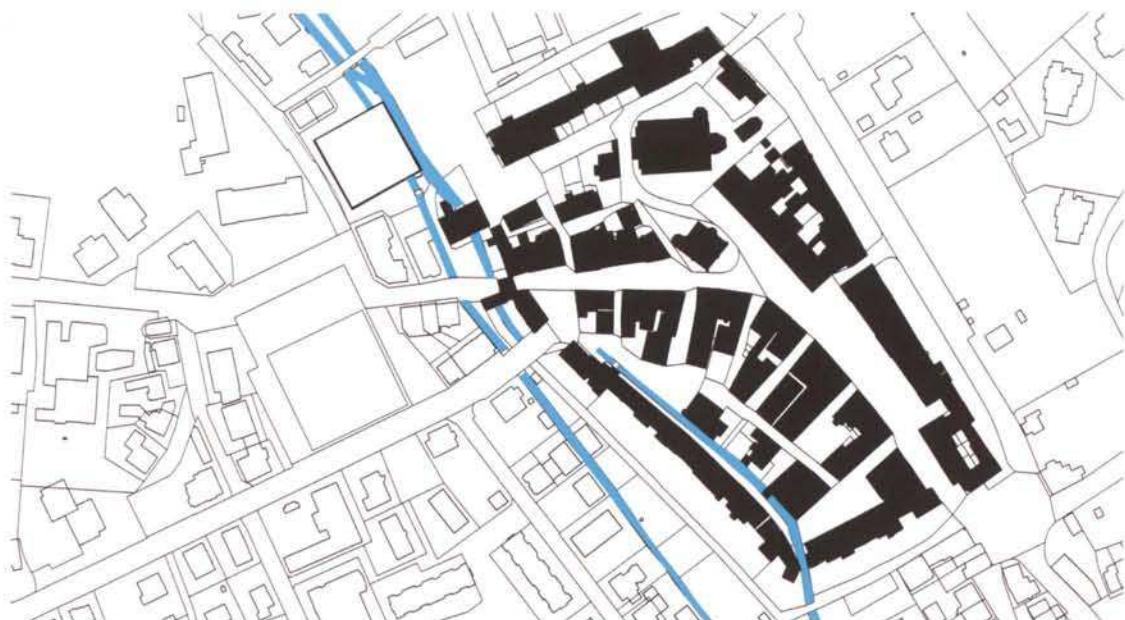
Coefficient U fenêtre:  
1,25 W/m<sup>2</sup>.K

Cet inhabituel immeuble de bureaux et de logements a nécessité une période de gestation de plus de 11 ans. À l'époque, les architectes ont remporté le concours lancé pour un site difficile à la jonction entre vieille ville et quartiers modernes de Sursee. Le départ d'une fabrique de meubles établie de longue date sur le site a permis une nouvelle utilisation. Le parti architectural s'est maintenu tout au long des diverses phases de mise au point. Le bâtiment fait face au nouveau Stadthof de Luigi Snozzi et aux bâtiments de l'école St. Georges, protégés à titre de monuments historiques. Le nouveau bâtiment se montre très discret et suscite ainsi l'intérêt des passants attentifs. Il occupe donc tout naturellement le vide laissé dans l'alignement par la démolition. La limitation volontaire à trois niveaux côté rue est aussi significative que le traitement subtil des façades en bardage bois avec une discrète lasure de couleur. Les parties vraiment passionnantes du bâtiment donnent sur l'arrière. Un chemin public permet le passage le long des deux bras de la Suhre à nouveau dégagés. De là, on voit la petite cour intérieure bien structurée qui offre aux employés une aire de

détente avec un large panorama sur les rives verdoyantes et les parties chatoyantes de la vieille ville. Sur l'île se dressent deux logements-ateliers à deux niveaux qui supportent les deux étages de logements. La façade fermée côté rue contraste avec celle ouverte sur les bras de la rivière et sur le bourg. Le riche dialogue avec l'environnement marque fortement l'image du bâtiment.

Étant donné que le propriétaire et utilisateur du bâtiment, une entreprise suisse de grand renom spécialisée dans le bois, a pris part au réglage minutieux du programme de construction, le bâtiment a en toute logique été réalisé autant que possible dans ce matériau. Hormis le sous-sol, au niveau de la nappe phréatique et donc en béton étanche, seuls les accès sont en construction massive pour des raisons de sécurité incendie.

La fabrication en atelier des éléments de construction en bois s'est déroulée dès les travaux de fondation et de ceux du sous-sol en béton étanche. Le montage des quatre niveaux principaux a débuté en juillet 2002 et s'est étalé



2

3

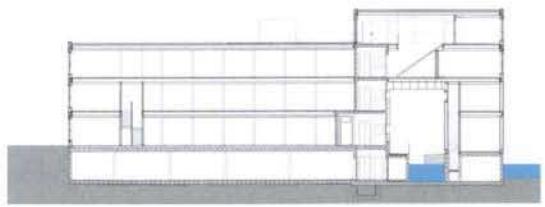
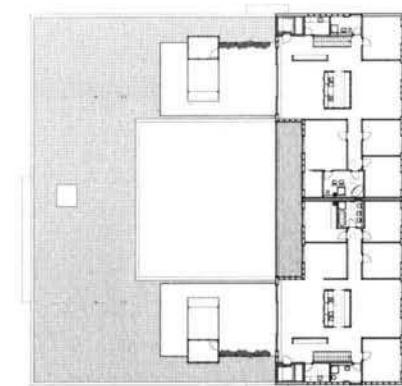


1 Façade principale face au faubourg

2 Plan de masse avec le centre-ville de Sursee

3 Vue depuis la cour intérieure sur la coulée verte longeant la Suhre et sur l'arrière de la barre de logements à deux niveaux avec ses vastes balcons

- 4 Plans du rez-de-chaussée jusqu'au 3<sup>e</sup> étage. Celui du rez-de-chaussée montre bien la disposition en pont et les deux logements-ateliers sur l'île formée par les deux bras de la rivière. L'orientation nord-est/sud-ouest est avantageuse.
- 5 Coupe transversale montrant les différentes hauteurs et la cour avec les deux bras de la Suire
- 6 Détail d'un plan d'exécution au niveau du passage montrant les accès aux logements et aux deux niveaux d'ateliers
- 7 Vue depuis le passage en direction de l'est
- 8 Façade partielle avec le passage
- 9 Salle d'exposition
- 10 Cafétéria
- 11 Vue sur la cour intérieure depuis la vieille ville



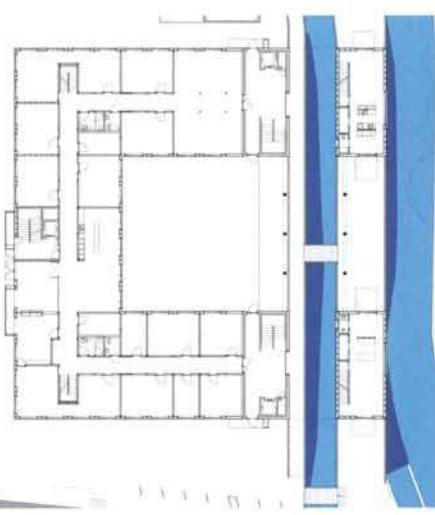
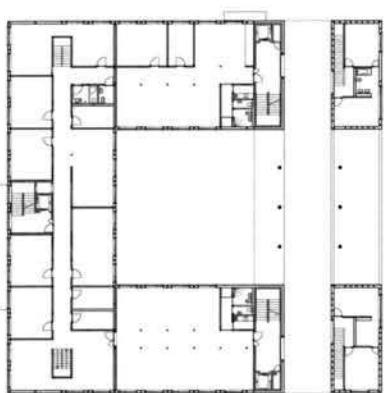
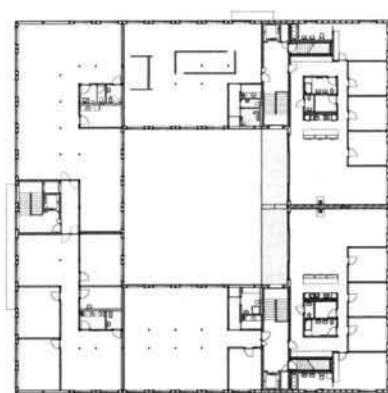
5

sur quatre semaines. Les derniers travaux d'aménagement se sont achevés en temps voulu, en décembre 2002, après un chantier de huit mois.

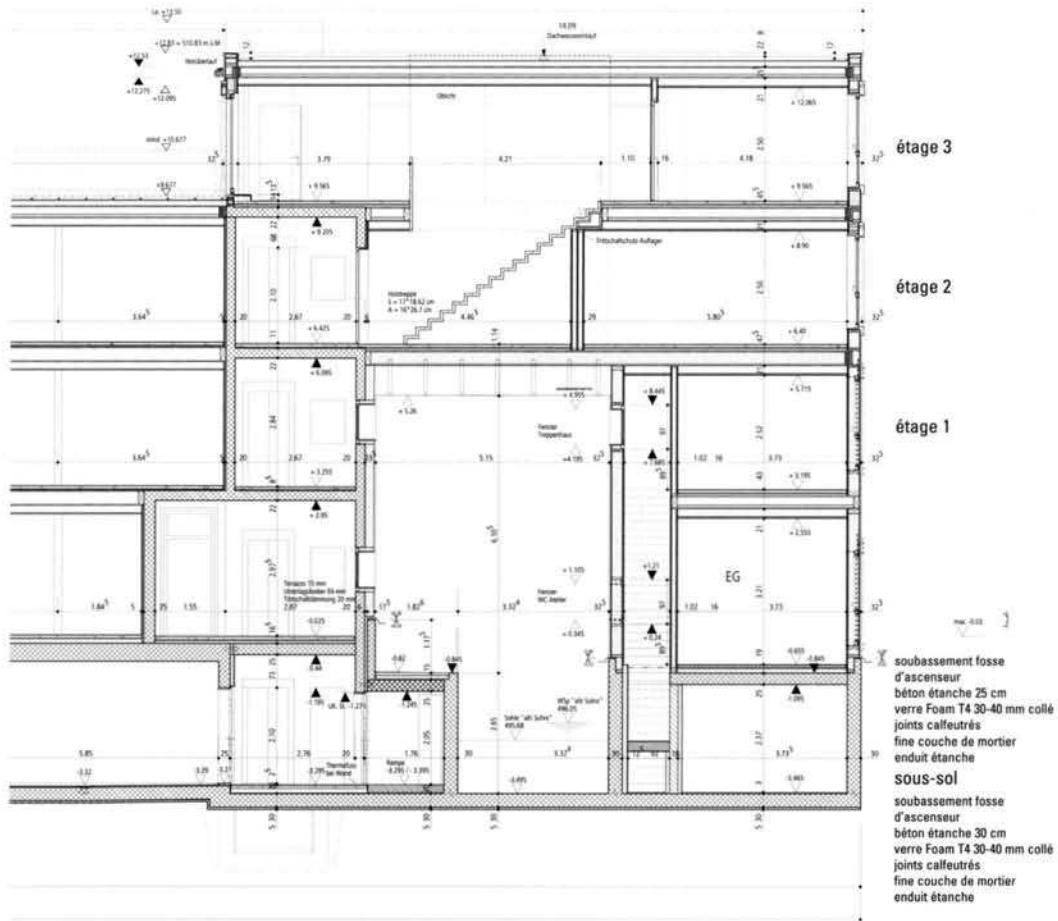
L'attention particulière accordée à l'ensemble des différents aspects de la conception – fonction, construction, écologie, économie, esthétique – s'explique par le souci pour la consommation d'énergie du bâtiment. Il ne s'agissait pas uniquement de satisfaire les exigences minimales des prescriptions énergétiques, mais d'explorer d'autres améliorations possibles. L'enveloppe du bâtiment a été conçue sans compromis pour réduire les déperditions par transmission et maximiser les apports solaires passifs. Une bonne isolation thermique de chaque partie et l'optimisation des jonctions ont été déterminantes. Le choix du bois pour la construction a permis la réalisation de détails de liaison pour ainsi dire sans pont thermique. Il a juste fallu tenir compte d'un coefficient de déperdition U de  $0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$  pour le montage dans la structure bois des fenêtres choisies en bois et aluminium.

Pour réduire les déperditions dues à la ventilation habituelle par la fenêtre, une ventilation contrôlée avec récupérateur de chaleur a été mise en place – un autre moyen de baisser fortement les besoins de chauffage. La technique performante des pompes à chaleur assure les besoins restants pour le chauffage et l'eau chaude. Les deux pompes à chaleur utilisant la nappe phréatique garantissent un coefficient de travail annuel de 4. La première peut couvrir les besoins en chauffage jusqu'à une température extérieure de  $-3^\circ\text{C}$ . La seconde est destinée à l'eau chaude sanitaire et sert lors des pics de froid. La diffusion de la chaleur est en règle générale assurée par le chauffage au sol.

L'énergie fournie par le rayonnement solaire et la chaleur émise par les personnes et les ordinateurs est mesurée de façon automatique par un thermostat d'ambiance et le chauffage dosé en conséquence. Seule une prise en compte rigoureuse des interactions entre ces différentes mesures permet de minimiser les dépenses d'énergie décrites ci-dessus. Un contrôle



4



9



10



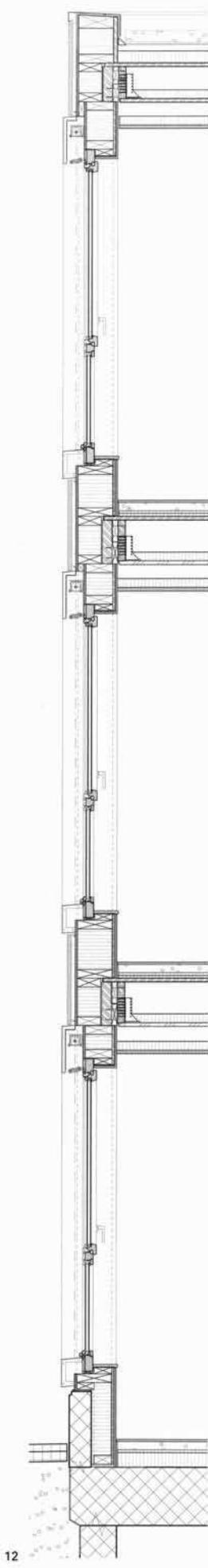
11



7



8



12 Coupe de la façade avec tous les éléments de toiture, de plancher et de mur, du haut vers le bas: construction toiture plate, mur, plancher courant, dalle du RDC

13 Vue partielle de la façade nord: cadres de fenêtres en aluminium anodisé, bardage en lames de sapin étroites et lasurées

**Construction toiture plate:**  
depuis l'extérieur:  
végétation extensive  
80 mm ou accessible  
(caillbotis bois 70 mm)  
non-tissé de protection  
étanchéité (film)  
panneau PUR avec pente  
intégrée recouvert  
d'aluminium 20-60 mm  
panneau en mousse de  
polyuréthane dure PUR  
recouvert d'aluminium  
80 mm (120 mm)  
matériau résilient pour les  
logements praticable 10 mm  
pare-vapeur  
OSB-3 25 mm  
solivage 80x220/  
laine minérale 60 mm  
OSB-3 25 mm  
plafond suspendu/  
plaques de Placoplâtre  
2x12,5 mm, plafond  
acoustique partiel

**Construction mur extérieur**  
depuis l'intérieur:  
plaqué de Placoplâtre  
12,5 mm tapissé  
pare-vapeur/  
étanchéité à l'air  
OSB-3 15 mm  
cadre en bois 80x240 mm/  
laine minérale  
plaqué gypse-fibre 15 mm  
film étanche à l'eau  
lattage 27 mm vertical  
vide d'air  
bardage bois 27 mm horizontal

**Construction dalle**  
depuis le haut:  
parquet 15 mm  
chape anhydrite coulée  
55 mm  
couche de séparation/  
glissement  
matériau résilient  
plaqué laine minérale 20 mm  
panneau en mousse de  
polyuréthane dure PUR (F20)  
20 mm  
OSB-3 25 mm  
solivage 120 x 280  
panneau laine minérale  
60 mm  
panneau triplis 27 mm  
plafond suspendu / plaques  
de Placoplâtre 2x12,5 mm,  
plafond acoustique partiel

**Construction dalle**  
depuis le haut:  
parquet 15 mm  
Chape anhydrite coulée  
55 mm  
couche de séparation/  
glissement  
matériau résilient  
plaqué laine minérale 20 mm  
panneau en mousse de  
polyuréthane dure PUR  
recouvert d'aluminium  
100 mm  
dalle béton armé  
250-400 mm

externe des performances par des organismes indépendants au moyen de différents tests (Blower-Door, thermographie, mesure de la qualité de l'air ambiant, mesures régulières de la consommation) permettent de vérifier le respect des prescriptions de départ. Les informations relevées à cette occasion seront prises en compte pour le développement du système de construction.

Les solutions techniques retenues pour le montage des éléments de construction préfabriqués apparaissent clairement dans la coupe de façade ci-contre. En plus des mesures prises pour la thermique, toutes les possibilités d'optimisation en matière d'isolation acoustique ont aussi été étudiées lors de la phase de conception. Pour les plafonds, la solution retenue a consisté en un faux plafond suspendu et souple constitué de deux plaques de plâtre-carton. La protection vis-à-vis des bruits d'impact et des bruits aériens améliore nettement le confort d'utilisation du bâtiment, surtout si l'on considère l'éventualité de changements d'activité dans les différents niveaux.

La conception de l'enveloppe a été guidée par le choix de matériaux divers afin de répondre au mieux aux exigences liées aux dépenses d'entretien et de durée de vie. Le métal n'apparaît qu'à la liaison entre les fenêtres et la façade. Le large cadre devient un masque et détermine l'apparence esthétique des ouvertures. Le bardage en lames de sapin étroites des autres surfaces est économique et renforce l'effet joué par les cadres des fenêtres. La sensation de volume est très marquée et n'est jamais remise en cause par les percements et les échelonnements en hauteur.



## Façades différencierées: complexe de bureaux à Duisbourg

Architectes:  
Schuster Architekten, Düsseldorf



1

### Informations sur le projet:

Livraison: 2002

SHON: 12 100 m<sup>2</sup>

SHOB: 26 500 m<sup>2</sup>

Volume du bâtiment:

106 000 m<sup>3</sup>

Besoins d'énergie calculés pour le chauffage par an:  
9 kWh/m<sup>2</sup>/an

Coefficient U toiture plate:  
0,12 W/m<sup>2</sup>.K

Coefficient U façade sud:  
0,33 W/m<sup>2</sup>.K (sans rayonnement solaire)

Coefficient U réel façade sud:  
0,05 W/m<sup>2</sup>.K (avec rayonnement solaire)

Coefficient U façade nord:  
0,24 W/m<sup>2</sup>.K

Coefficient U fenêtre avec cadre:  
1,4 W/m<sup>2</sup>.K  
dont coefficient U vitrage:  
1,1 W/m<sup>2</sup>.K

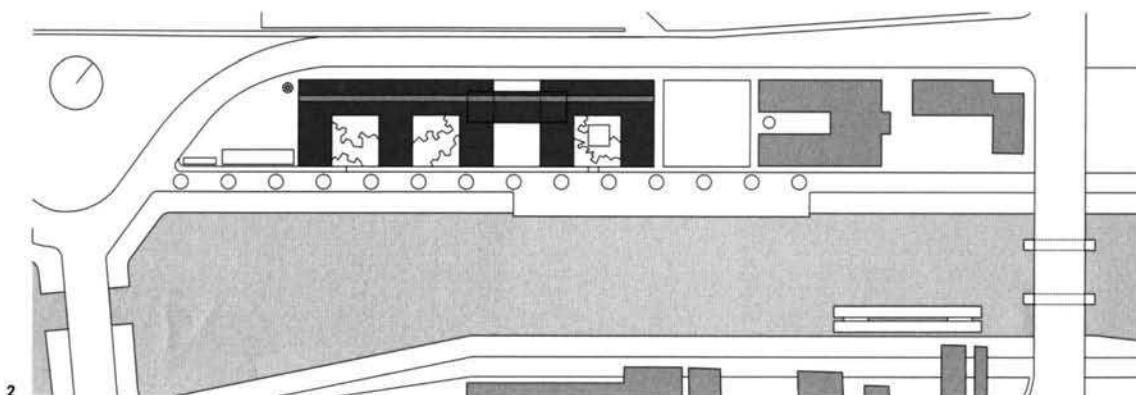
La restructuration du bassin de la Ruhr est également perceptible à Duisbourg. Une ancienne zone portuaire à dominante industrielle s'est transformée en un site moderne dédié aux services et aux loisirs. La qualité et l'identité du lieu sont toujours marquées par la forte présence des entrepôts historiques.

La construction destinée aux Services centraux de la police urbaine (ZPD) est une réinterprétation de ce type de bâtiment dans un esprit contemporain. Il s'agit d'un grand édifice fonctionnel, compact et très économique en énergie. La réaction à cet environnement très particulier explique l'organisation du bâtiment et aussi son image générale. Les bureaux s'ouvrent au sud sur la ville et sur l'eau. Les espaces secondaires et ceux de stockage donnent, par contre, au nord, vers l'autoroute bruyante. Cette répartition, somme toute très logique, ne se contente pas de souligner la lisibilité et la clarté de l'ensemble de la structure, elle favorise son insertion dans son environnement urbain.

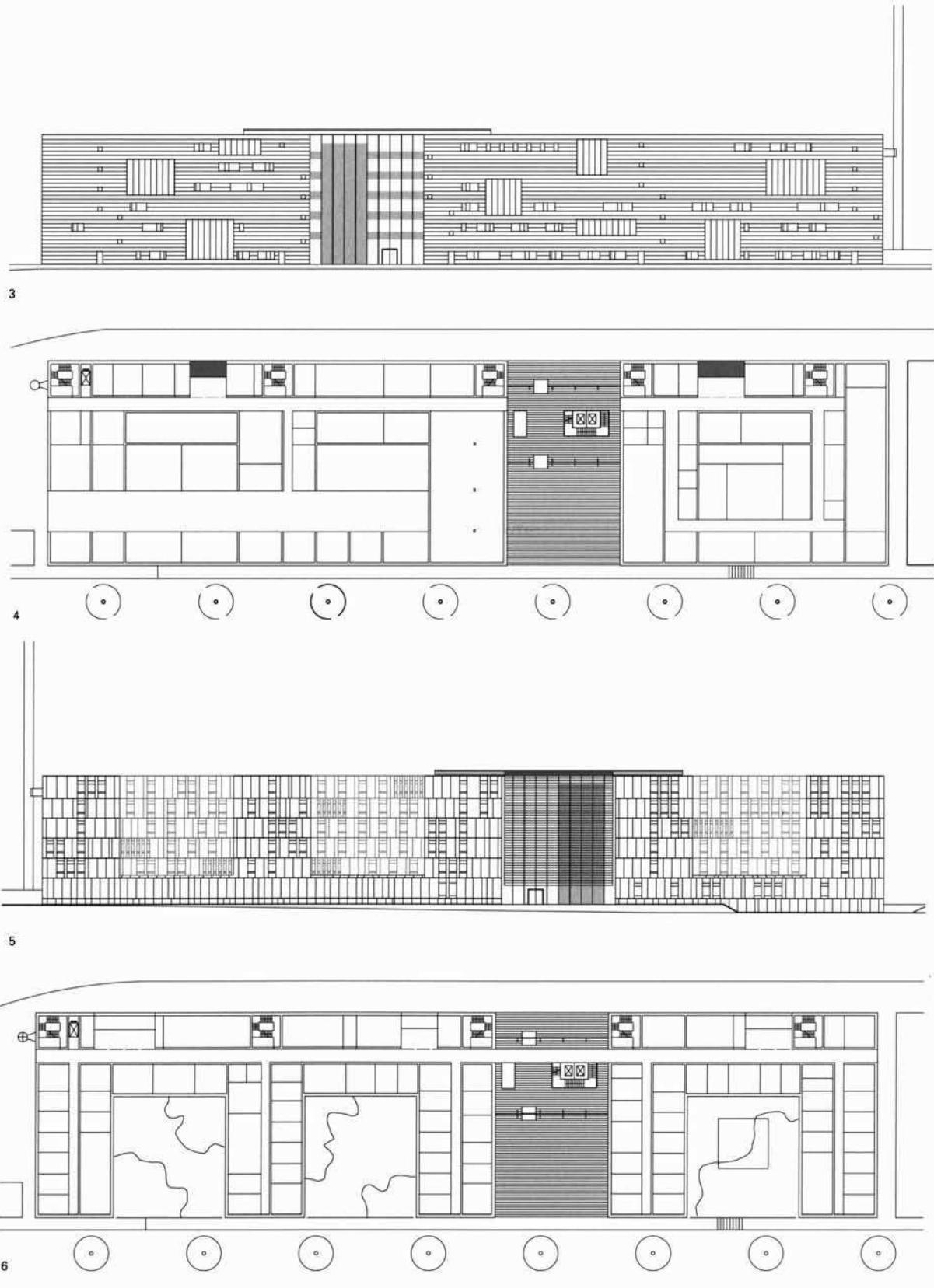
Le lien direct entre l'écologie et la volumétrie a servi de base à la conception globale. L'image extérieure du bâtiment est dominée au sud par la façade solaire récemment mise au point. Au moment de la conception, on s'est concentré sur les fonctions intérieures du bâtiment, ce qui a entraîné un jeu de façades très variées. Au nord, le front reste au contraire refermé et peu animé. Les rares ouvertures significatives sont traitées comme des «fenêtres vertes» aux différents thèmes, donnant ainsi des points de repère et une échelle.

Sur le plan formel, le grand hall d'entrée à plusieurs niveaux se détache des autres surfaces, et ce, des deux côtés du complexe; il signale l'entrée de loin. C'est surtout là que se lit le jeu entre les différentes façades. Lieu d'accueil central, le hall articule le bâtiment.

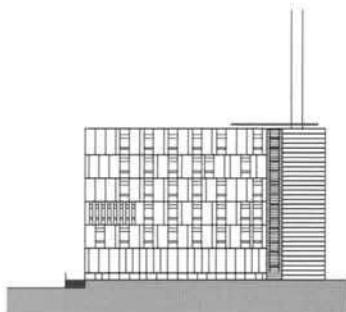
Par une conception globale, on a tenté d'optimiser le bâtiment du point de vue écologique. Cela comprend la distinction logique entre espaces principaux et espaces secondaires. Les



2



- 1 Façade nord
- 2 Plan de masse
- 3 Façade nord
- 4 Plan de l'étage
- 5 Façade sud
- 6 Plan du rez-de-chaussée  
plans sans échelle



7



8



9

premiers sont regroupés au sud et les autres au nord, ce qui prend tout son sens sur les plans urbanistique et fonctionnel. Tous les systèmes ont été retenus pour leur simplicité et leur efficacité.

Les façades solaires orientées au sud permettent une utilisation passive de l'énergie solaire. Ces façades sont constituées de panneaux vitrés et cartonnés en nid-d'abeilles. Le souci de minimiser la part des plastiques a guidé le choix des matériaux. En aménagement intérieur, on a utilisé des matières naturelles.

Le système de ventilation innovant repose sur l'aération naturelle des bureaux et sur le rafraîchissement du bâtiment par la possibilité donnée aux usagers d'ouvrir les fenêtres. Les masses d'inertie thermique améliorent l'efficacité de la ventilation. La possibilité de récupération de la chaleur et de rafraîchissement naturel par une aération nocturne a égale-

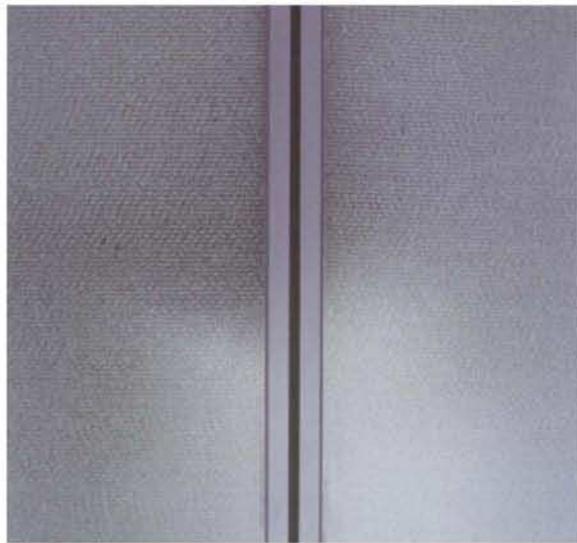
ment été prise en compte. Pour de faibles vitesses de circulation d'air et avec des flux optimisés, les besoins en énergie électrique du système de ventilation ne représentent que 11 % de ceux d'un système classique comparable. Le rafraîchissement se fait de trois manières: par l'eau du port, par la ventilation traversante nocturne et par la mise en œuvre de machines à adsorption. Les besoins en chauffage s'élèvent à 9 kWh/m<sup>2</sup>/an, ce qui est en dessous des normes d'isolation thermique et dépasse même le standard maison passive. Le concept d'approvisionnement en énergies renouvelables procure les avantages suivants: l'utilisation du rayonnement solaire par l'ensemble du bâtiment produit 111 MWh de chaleur par an.

L'installation photovoltaïque assure 32 MWh/an. L'huile de colza pour le cogénérateur et les chaudières d'appoint pour pics de consommation

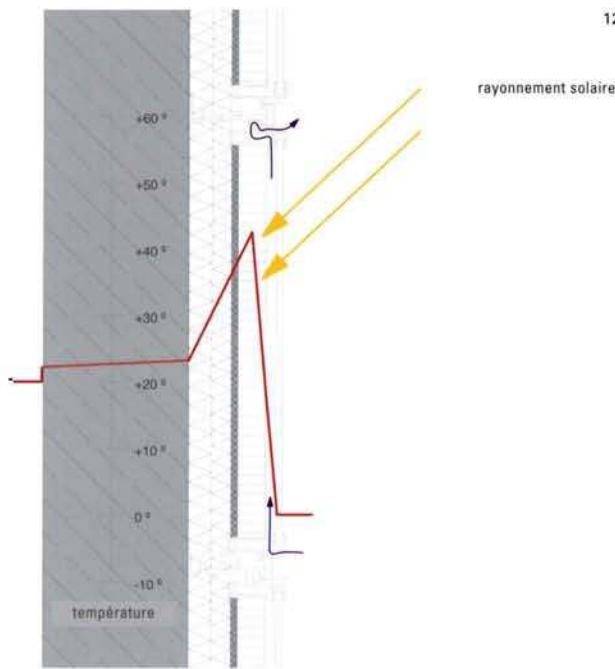
7 Coupe, sans échelle  
8 Façade sud côté port  
9 Vue du sud-est avec le bassin du port



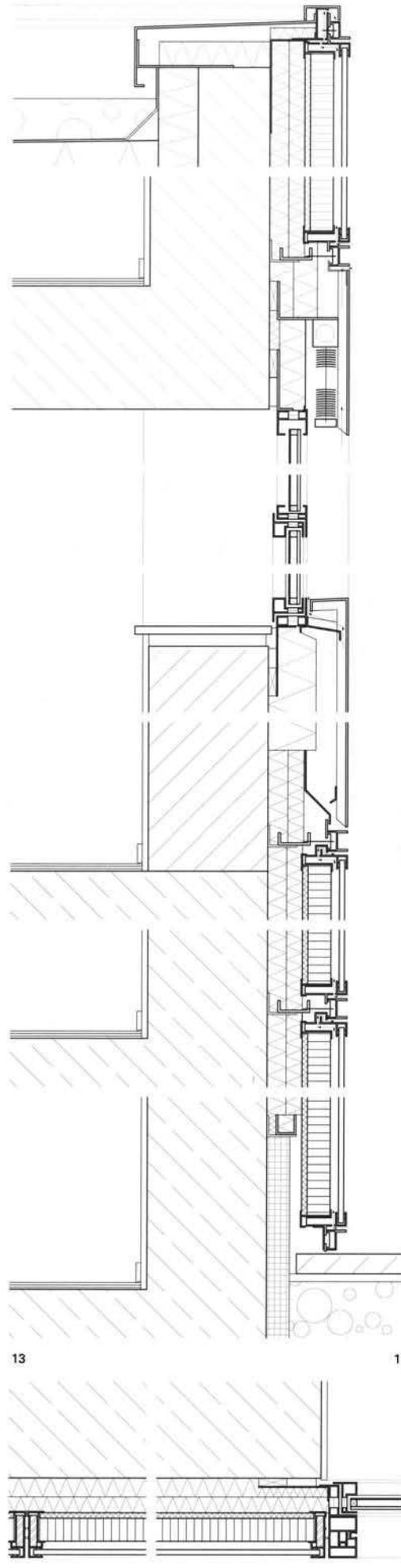
10



11



12



10 Coupe longitudinale partielle, sans échelle

11 Vue de détail d'un panneau solaire de la façade

12 Schéma de l'apport d'énergie sur la façade solaire

13 Coupe verticale de la façade sud, de l'intérieur vers l'extérieur; allège béton armé, laine minérale 90 mm, élément de façade solaire avec 14 mm de plaque OSB, 60 mm de carton en nid-d'abeilles, 22 mm de vide d'air, 10 mm de vitrage ESG au RDC, 13 mm de vitrage ESG aux étages, sans échelle

14 Coupe horizontale de la façade sud et liaison avec l'ouvrant de la fenêtre, sans échelle

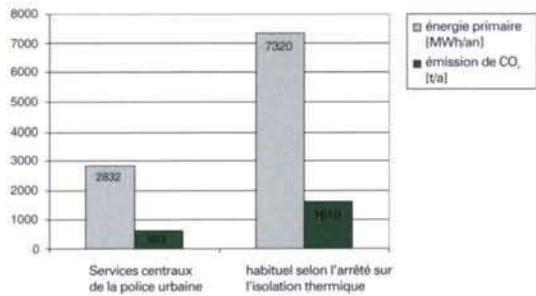
15 Vue sur la cage d'escalier dans le hall d'entrée central. La construction économe en énergie et écologique ne s'oppose pas à une conception ambitieuse.

15





16

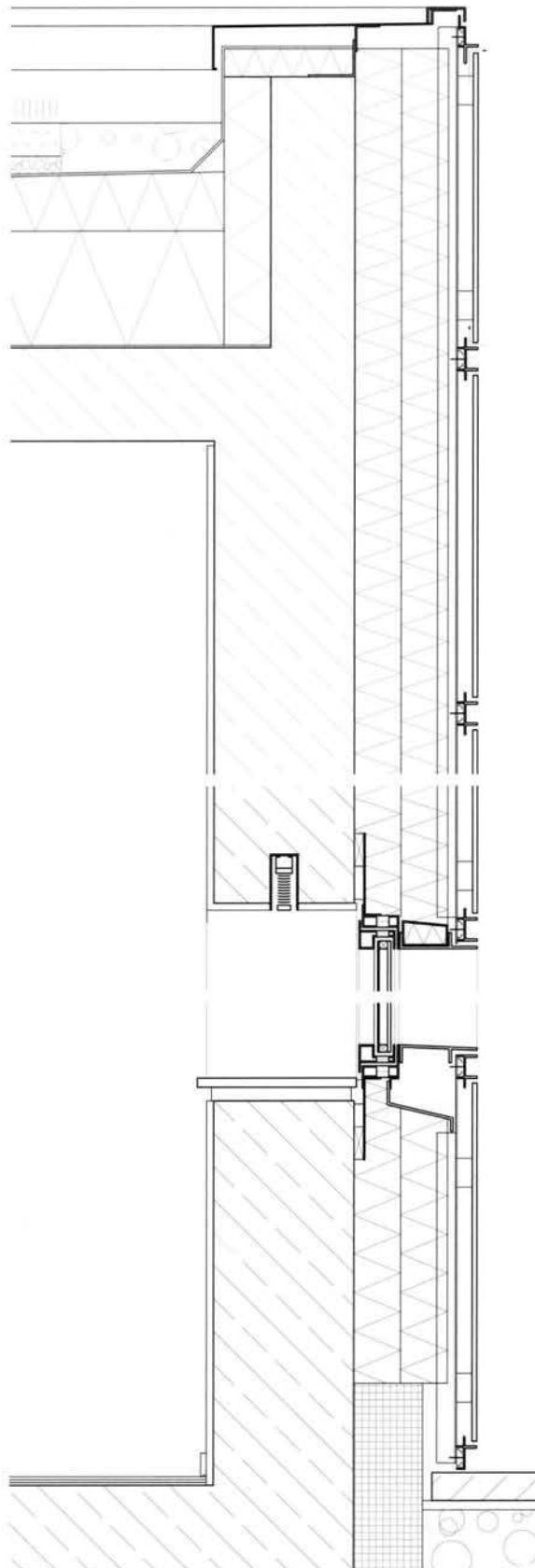


17

fournit chaque année 232 MWh de chaleur et 193 MWh d'électricité. Ensemble, les sources d'énergies renouvelables couvrent 43% des besoins en énergie finale du bâtiment.

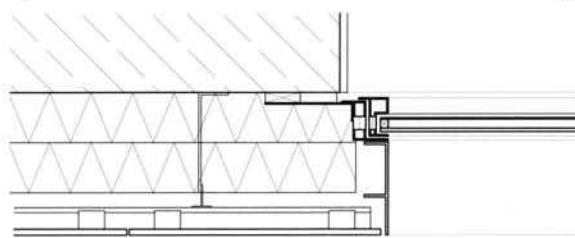
Collectée dans une citerne, l'eau des toitures est utilisée pour le nettoyage des toilettes. 1 200 m<sup>3</sup> d'eau potable sont ainsi économisés chaque année.

En comparaison avec un bâtiment traditionnel respectant les prescriptions de la réglementation thermique, le bénéfice écologique correspond à l'émission de 987 tonnes d'équivalent en dioxyde de carbone par an.



18

19



16 Vue partielle de la façade nord avec les « fenêtres vertes »

17 Comparaison de la consommation d'énergie primaire et des émissions de CO<sub>2</sub> entre cet ensemble et des bâtiments de bureaux courants

18 Coupe verticale de la façade nord, de l'intérieur vers l'extérieur: mur en béton armé laine minérale 200 mm vide d'air 65 mm panneau fibrociment 12 mm sur une ossature secondaire sans échelle

19 Coupe horizontale de la façade nord et liaison avec la fenêtre, sans échelle

## Ventilation naturelle d'une tour: bâtiment de bureaux à Munich

Architectes:  
Henn Architekten, Munich

### Informations sur le projet:

Livraison: 2003  
Surface utile: 9 686 m<sup>2</sup>  
SHOB: 30 280 m<sup>2</sup>  
Volume du bâtiment:  
109 500 m<sup>3</sup>

Consommation d'énergie  
calculée pour le chauffage  
des bureaux:  
12,10 kWh/m<sup>2</sup>/an  
Logements: 10 kWh/m<sup>2</sup>/an  
Coefficient U toiture  
végétale: 0,28 W/m<sup>2</sup>.K  
Coefficient U façade-rideau  
grande aile avec les cadres:  
1,3 W/m<sup>2</sup>.K  
Coefficient U fenêtre tour  
avec les cadres: 1,3 W/m<sup>2</sup>.K  
dont coefficient U vitrage:  
1,2 W/m<sup>2</sup>.K

L'Institut Fraunhofer effectue des recherches liées aux applications. La décision de regrouper les services centraux dans un seul bâtiment a entraîné l'organisation d'un concours d'architecture qui a été remporté par l'agence Henn. La situation du nouveau complexe de bureaux est avantageuse sur le plan des transports car l'accès au réseau de métro et de train régional est direct. Avec le bâtiment existant de l'Institut, construit en 1992, un îlot urbain avec une cour intérieure utilisé pour les pauses du personnel prend forme. Le nouvel ensemble se compose de trois parties de différentes hauteurs: un bâtiment bas de deux niveaux, une grande aile de cinq étages avec atrium et une tour de 17 étages qui joue le rôle de signal dans un environnement urbain hétérogène avec une utilisation commerciale intense.

La garantie d'un éclairement et d'une ventilation naturels pour chaque poste de travail – une exigence du maître d'ouvrage – est un aspect important de la conception du plan et des détails. Dans l'aile, l'atrium planté assure la fonction d'espace tampon. Des parois vitrées favorisent la communication entre les bureaux combinés et créent une sensation d'espace surprenante et agréable. Dans la tour, deux niveaux sont directement reliés par un escalier hélicoïdal à une unité fonctionnelle plus grande. Les bureaux combinés constituent là aussi le modèle d'organisation. Les bureaux se développent autour d'un espace de communication avec une salle pour les réunions, la kitchenette, les rangements, les archives, etc. La possibilité de pouvoir réagir à tout moment au développement d'un nouveau concept de bureaux flexible sans intervenir sur le bâtiment lui-même a déterminé la conception de celui-ci et de sa structure. Une façade double optimisée à l'aide de maquettes successives jusqu'à grandeur nature permet l'éclairage et la ventilation naturels de la tour.

Différents instituts Fraunhofer ont pris part au développement des divers éléments novateurs du bâtiment. Tandis que l'Institut pour les systèmes d'énergie solaire (ISE) de Fribourg-en-Brisgau se consacrait entre autres à la mise au point de la façade double de la tour et au développement d'un concept énergétique global, l'Institut de physique du bâtiment (IPB) de

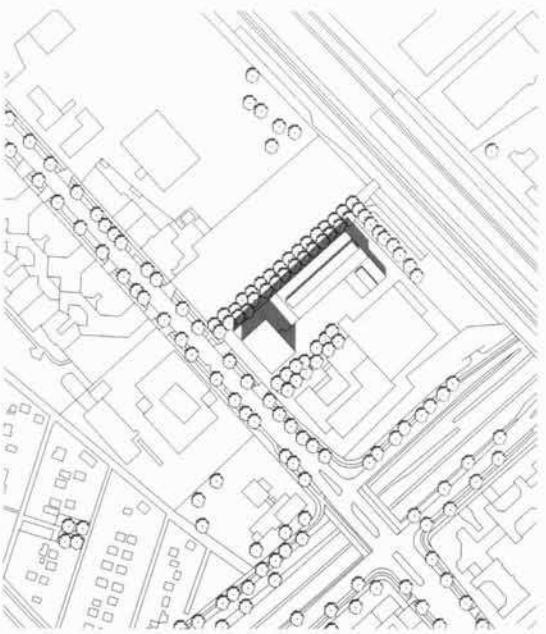


1

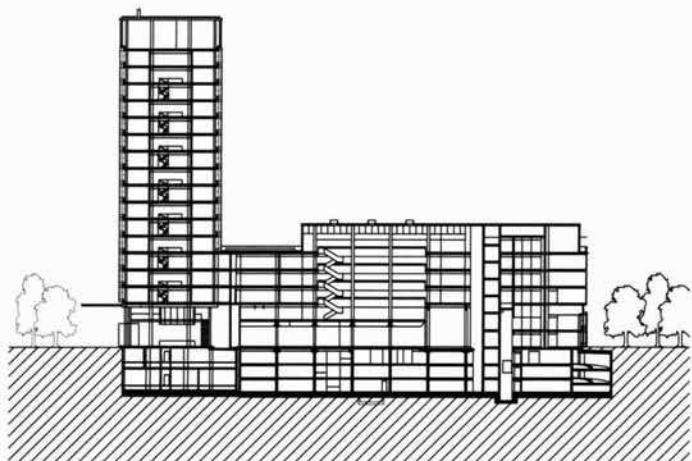
Stuttgart était chargé de l'acoustique. Outre l'organisation des bureaux, un système informatique de gestion technique intégrée du bâtiment a été élaboré. Un robot de lavage des façades parachève l'ensemble des innovations très intéressantes du bâtiment.

Dans le cadre du concept énergétique global développé itérativement, les aspects suivants ont été déterminants: un cogénérateur constitue l'élément essentiel pour le chauffage et le rafraîchissement du bâtiment et, en plus, assure les besoins de base en électricité.

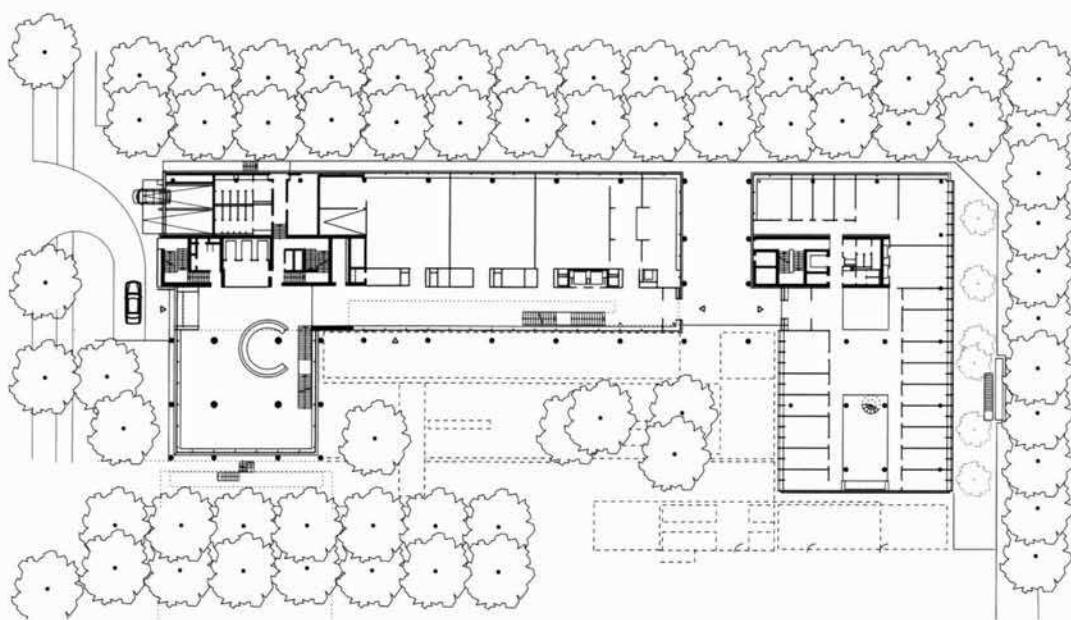
Le moteur à gaz Otto de 12 cylindres sert aussi de groupe électrogène. Une chaudière basse température à gaz est à disposition pour assurer les besoins en chaleur lors des heures de pointe. Les deux générateurs de chaleur sont



2

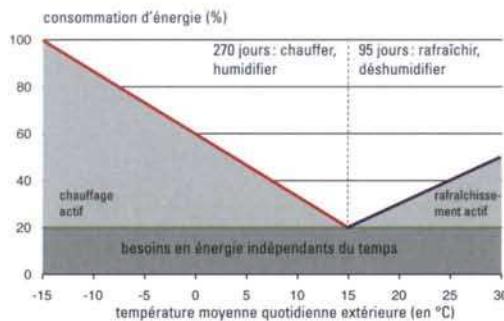


3



4

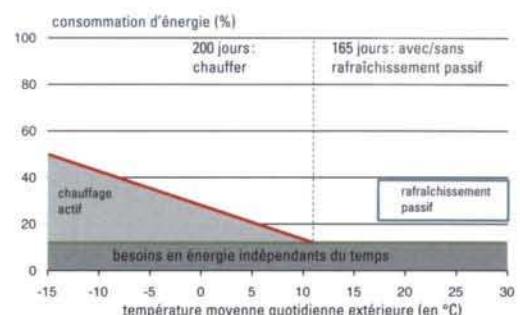
- 1 Complexe avec les bâtiments de différentes hauteurs: l'immeuble bas, la grande aile et la tour
- 2 Plan de masse
- 3 Coupe de la tour avec la grande aile et l'atrium
- 4 Plan du rez-de-chaussée avec le hall d'entrée, les salles de séminaires, la cafétéria, la section de bureaux pour les brevets organisés en bureaux combinés, la cour intérieure plantée servant d'aire de détente



5



6



7



7

reliés à un répartiteur de chaleur par l'intermédiaire d'un séparateur hydraulique. Le cogénérateur fonctionne bien sûr en été pour la production de froid. Celui-ci est produit par une machine de froid par adsorption et sert à la cuisine, la cantine, la salle de réunions et le secteur interne des étages de bureaux.

La température des bureaux peut être ajustée par l'aération nocturne. En hiver, la chaleur évacuée par la centrale de cogénération décentralisée alimente les surfaces de chauffage statiques et le système thermique de l'installation de ventilation des locaux. De plus, le chauffage de base du bâtiment est assuré par des serpentins coulés dans les dalles en béton. Le rafraîchissement et le chauffage fonctionnent avec un système à basse température. Une ventilation naturelle des importants volumes d'air du hall d'entrée et de l'atrium permet de réduire fortement les nécessaires investissements énergétiques et techniques. L'éventuel

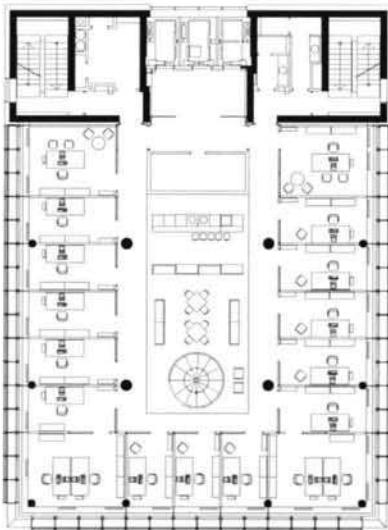
apport en chaleur dû au puits de lumière est minime et la ventilation par les ouvertures en périphérie très efficace. En cas d'incendie, deux grands ventilateurs au plafond évacuent les fumées hors du hall.

Dans la tour, le choix d'un concept de ventilation passif garantit un grand confort et une optimisation énergétique des postes de travail. Des simulations chiffrées ont servi de base à ce concept innovant de ventilation. L'indispensable protection par rapport aux bruits importants générés par le boulevard extérieur et la voie ferrée a également pesé sur le choix d'une façade double. La façade extérieure est constituée d'un mur-rideau en éléments de verre Securit (VSG) de 12 mm d'épaisseur et la façade intérieure est une grille composée de montants et de traverses de classe d'isolation 1. La nuit, l'activation du système intégré à la dalle de béton assure le nécessaire rafraîchissement. L'eau sert de fluide caloporteur. La chaudière à

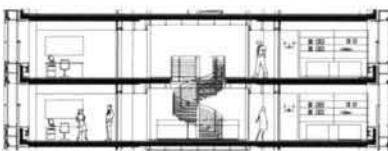
5 Comparaison entre des bâtiments de bureaux avec des équipements classiques et des bâtiments de bureaux « élancés »

6 Vue sur l'atrium avec le puits de lumière

7 Vue sur l'atrium avec l'ascenseur, l'escalier et les plantations



8



9

condensation est installée en toiture. Les réservoirs des sprinklers existants peuvent être utilisés comme ballons de stockage de froid. Il est également possible de rafraîchir les planchers par l'air ambiant, même la journée.

Sur place, un bureau avec sa façade a été construit à l'échelle 1:1. Cela a donné l'occasion d'optimiser petit à petit la ventilation naturelle par un examen des possibilités d'ouverture et fait pencher en faveur d'ouvrants à l'italienne situés le plus bas possible. L'apport énergétique nécessaire pour réchauffer l'air entrant est réduit grâce à un ensemble de mesures complémentaires. Chaque étage constitue son propre circuit de ventilation. Les angles de la tour comportent un vitrage comprenant un pare-soleil de couleur neutre. L'éclairage des postes de travail a aussi été optimisé par des simulations de lumière naturelle. Une lamelle plate et en deux parties reflète la lumière dans la partie supérieure vers le plafond puis vers



10

le fond de la pièce, tandis qu'elle isole le bas et empêche un éventuel réchauffement. Une régulation centrale basée sur la position du soleil modifie celle du pare-soleil. Les usagers peuvent agir sur les conditions de température et d'éclairage de façon individuelle, un aspect essentiel pour l'acceptation par le personnel de l'équipement technique retenu. À chaque fenêtre se trouve également un store à commande manuelle.

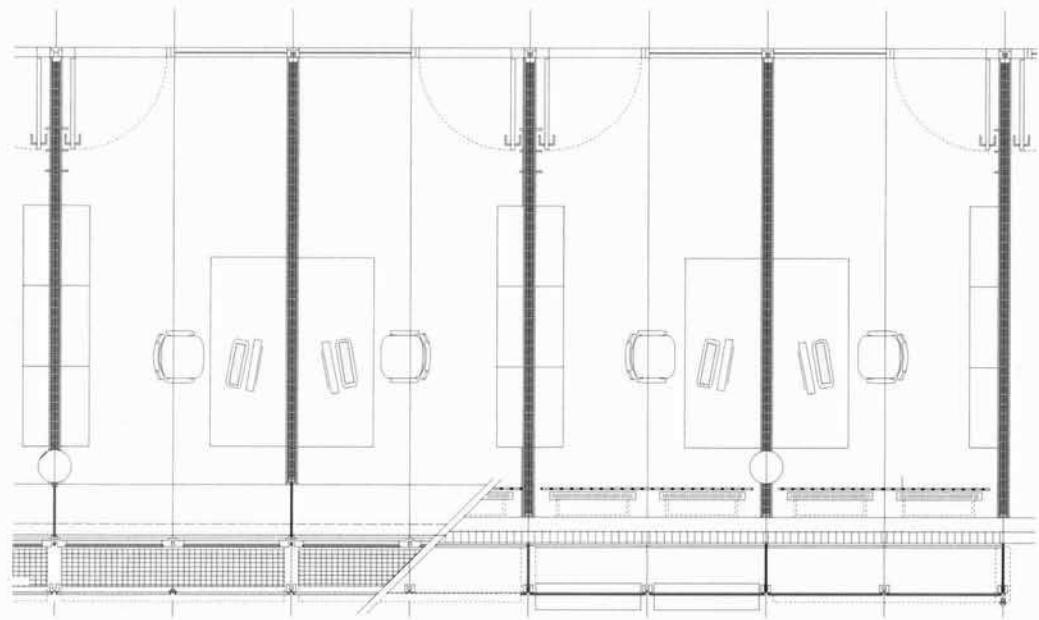
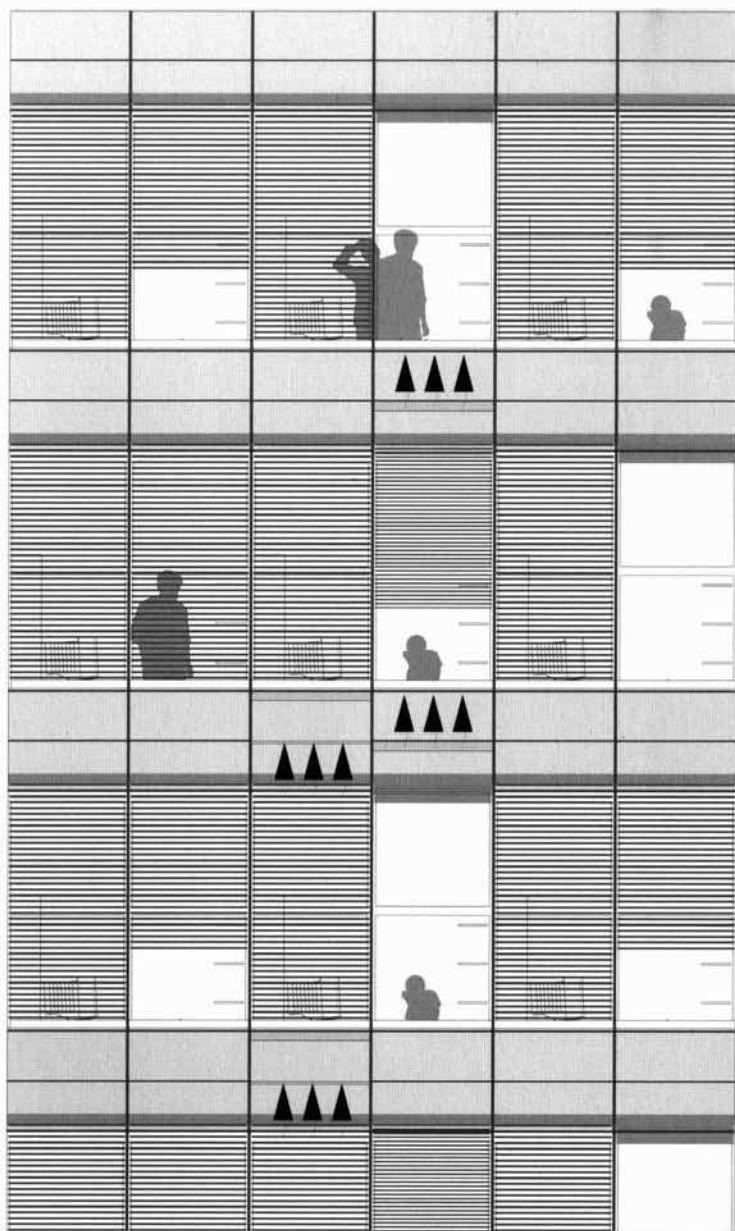
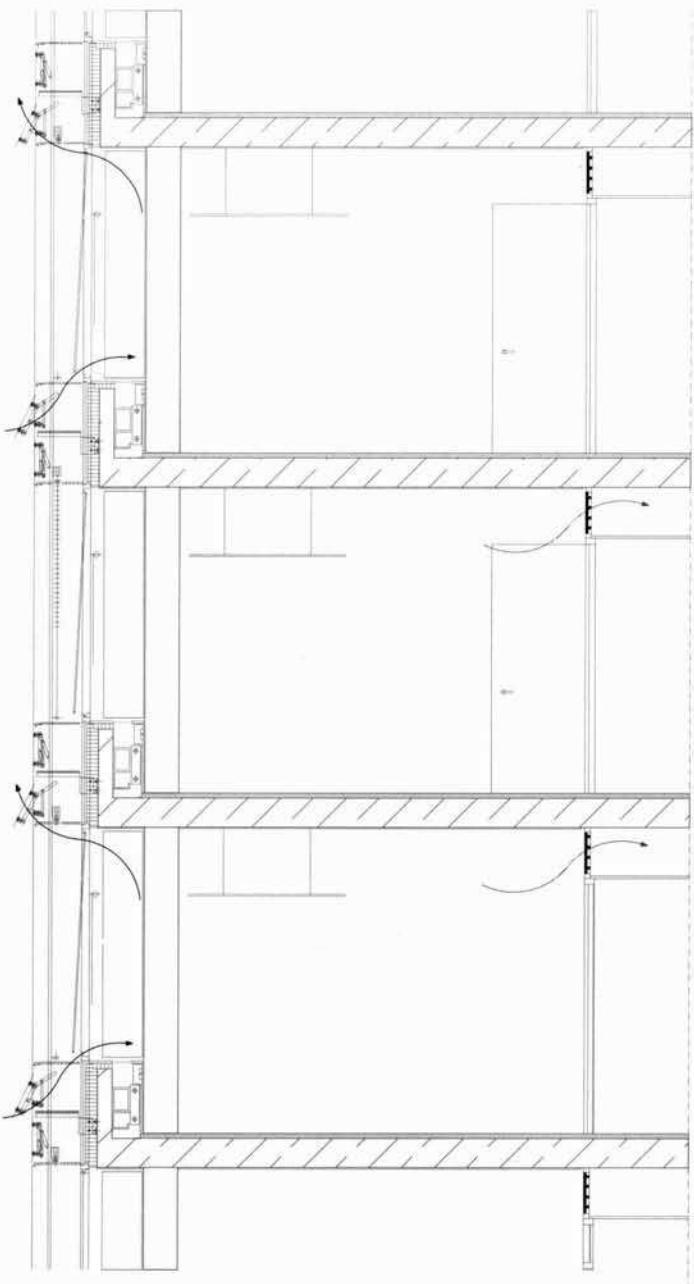
Les mesures de contrôle effectuées au cours des chauds mois d'été de l'année 2003 ont prouvé l'efficacité de ce concept énergétique. Des mesures de températures et par gaz traiteurs en ont apporté les preuves et chaque fonction a pu être vérifiée.

« Le comportement des usagers (commande des pare-soleil et ouverture des fenêtres à l'italienne) a certes pu avoir un impact important momentané sur les températures en été, mais

8 Plan des étages de bureaux de la tour

9 Coupe de deux niveaux de bureaux reliés par un escalier hélicoïdal

10 Vue sur un bureau courant de 18 m<sup>2</sup>



11 Coupe partielle, plan et élévation de la façade avec indication des entrées et sorties d'air, sans échelle

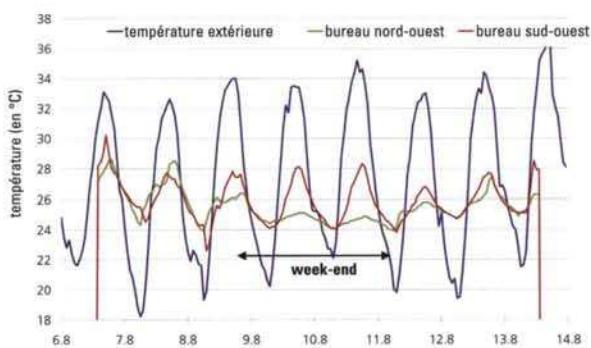
12 Façade avec les volets de ventilation ouverts

13 Évolution des températures au cours d'une semaine particulièrement chaude du mois d'août 2003 en comparaison avec les prescriptions d'origine

14 Vue du canal de la façade double peau



12



13



le bâtiment ventilé naturellement réagit très bien », selon les conclusions de l'étude. Le bâtiment satisfait aux exigences même dans les conditions réelles d'utilisation. Ces bons résultats sont corroborés par les entretiens réalisés avec le personnel. Les gens se sentent bien et approuvent les importants efforts consentis pour la mise au point de postes de travail répondant aux exigences actuelles.

14

## Projection d'ombre et guidage de la lumière: complexe de bureaux à Wiesbaden

Architectes:  
Thomas Herzog und Partner, Munich



1

### Informations sur le projet:

Livraison: 2003  
SHON: 36 250 m<sup>2</sup>  
SHOB: 56 150 m<sup>2</sup>  
Volume du bâtiment:  
48 798 m<sup>3</sup>

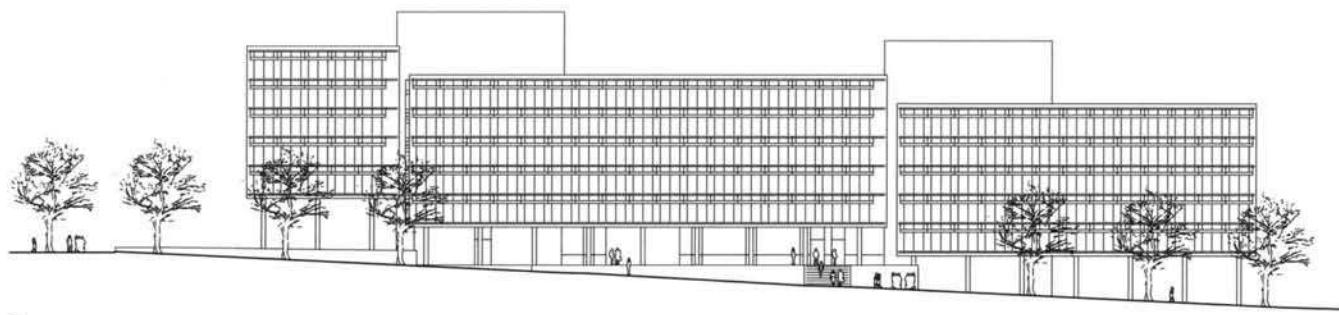
Coefficient U toiture plate:  
0,2 W/m<sup>2</sup>.K  
Coefficient U vitrage:  
0,7 W/m<sup>2</sup>.K

En plus d'une construction et d'un fonctionnement particulièrement économiques, le maître d'ouvrage souhaitait utiliser les énergies renouvelables pour ce projet de bâtiment de bureaux. Un système de production d'énergie utilisant la trigénération – production simultanée de chaleur, de froid et d'électricité – a été mis en place. Le raccordement au réseau de chauffage urbain existant garantit une haute performance de l'installation. Deux cogénérateurs à gaz servent à la production d'électricité et de chaleur. Une machine à froid par adsorption génère du froid à partir du surplus de chaleur.

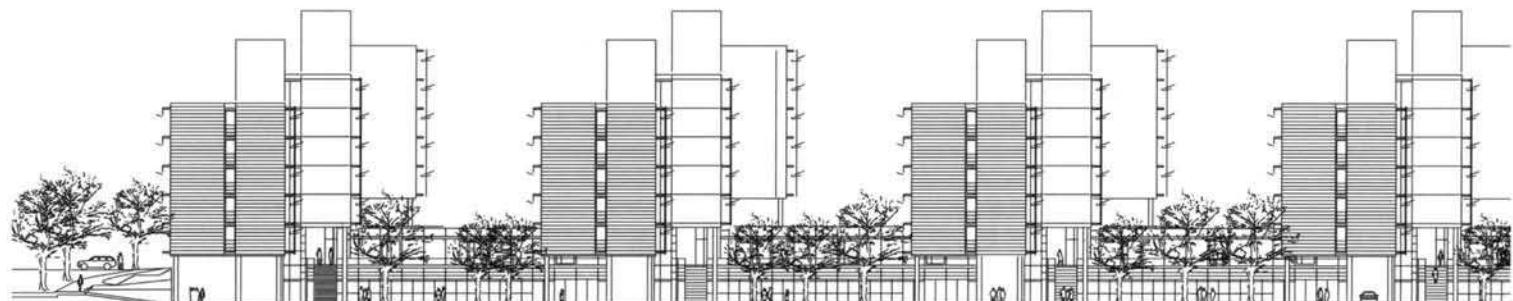
En tirant bien parti des règles de construction, le grand volume a pu être divisé en un bâtiment de liaison surmonté de quatre ailes de bureaux; cela permet entre autres la ventilation transversale naturelle du bâtiment. La disposition des noyaux de distribution permet une utilisation indépendante de surfaces plus

petites – que l'on peut louer – et qui peuvent être reliées à des unités plus importantes verticalement ou horizontalement. La profondeur de 12 mètres et la trame de façade de 1,50 m permettent la création de bureaux individuels, groupés, combinés ou encore paysagers. Les planchers et les plafonds servent d'accumulateurs, ce qui explique l'absence de faux plafonds et de doubles planchers. En hiver, ces éléments massifs sont chauffés tandis qu'on en extrait la chaleur en été. Le contrôle des températures de surface assure le confort intérieur.

Les façades des bureaux sont formées d'une paroi multicouches. La façade en bois au nord et au sud est composée de panneaux isolants comprenant des ouvrants de ventilation. En partie supérieure, des volets de ventilation intégrés peuvent être fermés à moitié ou complètement selon les conditions de température et de vent. La ventilation naturelle de l'espace



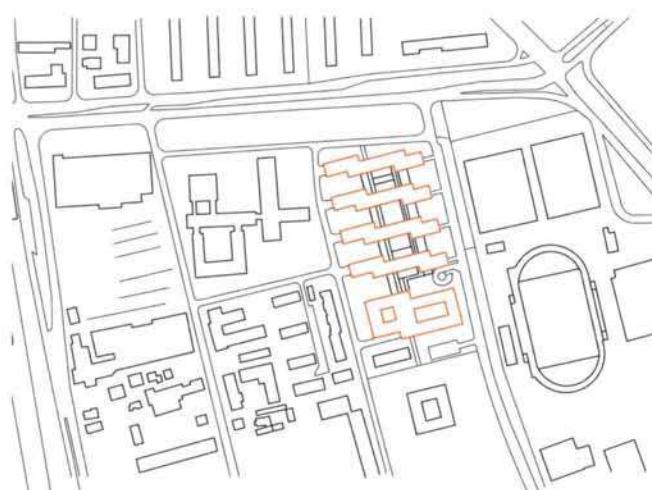
2



se fait de façon contrôlée par ces volets qui ont été placés pour assurer le nécessaire renouvellement hygiénique de l'air. En hiver, un petit convecteur réchauffe l'air extérieur entrant par ces volets de ventilation. La partie vitrée fixe, en triple vitrage isolant avec remplissage de gaz rare, présente d'excellentes qualités d'isolation thermique. Le verre blanc utilisé offre un degré de transmission lumineuse élevé. L'intégration de l'équipement technique des bureaux dans la façade est une innovation. La distribution électrique est intégrée dans un coffre en bois installé à hauteur de table et placé à l'intérieur.

Le développement des composants techniques novateurs a été soutenu financièrement par la Fondation fédérale allemande pour l'environnement.

Les lames métalliques montées sur la façade représentent une autre particularité. Du côté



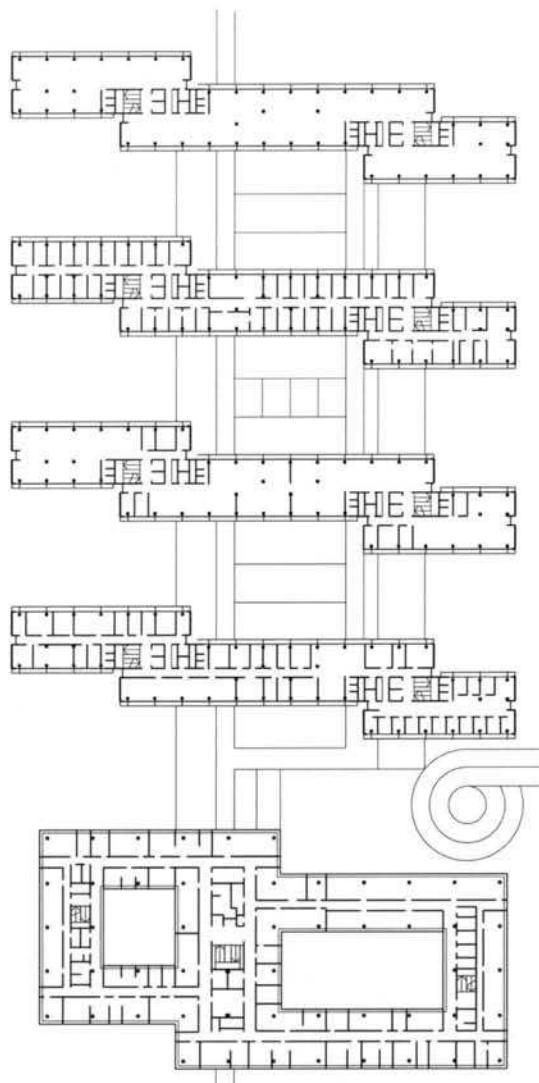
4

1 Succession des ailes de bureaux, prise de vue au crépuscule

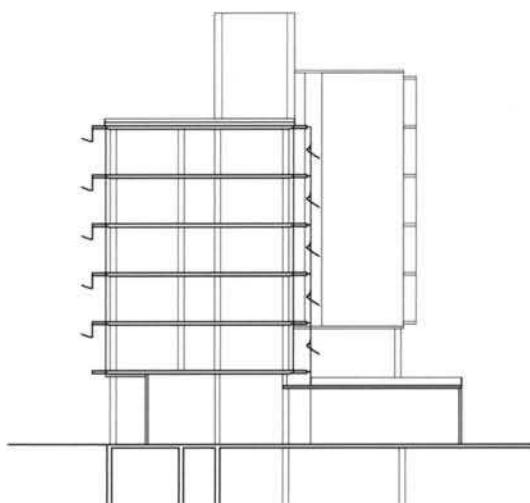
2 Façade nord d'une aile de bureaux, sans échelle

3 Façade ouest de l'ensemble, sans échelle

4 Plan de masse montrant les quatre nouvelles ailes et la liaison avec le bâtiment existant dans son environnement, sans échelle



5



6

5 Plan du 1<sup>er</sup> étage. Les quatre nouvelles ailes sont reliées au bâtiment de bureaux existant par deux passerelles, sans échelle.

6 Coupe transversale d'une aile, sans échelle

7 Vue frontale sur un axe de façade avec les éléments suivants : ouvrants verticaux de ventilation, ouvert à gauche et fermé à droite, avec des cadres en sapin plaqué de makoré, isolation thermique, volets réglables de ventilation, bandeau d'éclairage, à gauche, coffre en bois avec convecteur et, à droite, avec la distribution électrique

8 Vue de la façade avec un pare-soleil en partie descendu

9 Coupe de détail de la façade nord, sans échelle



7

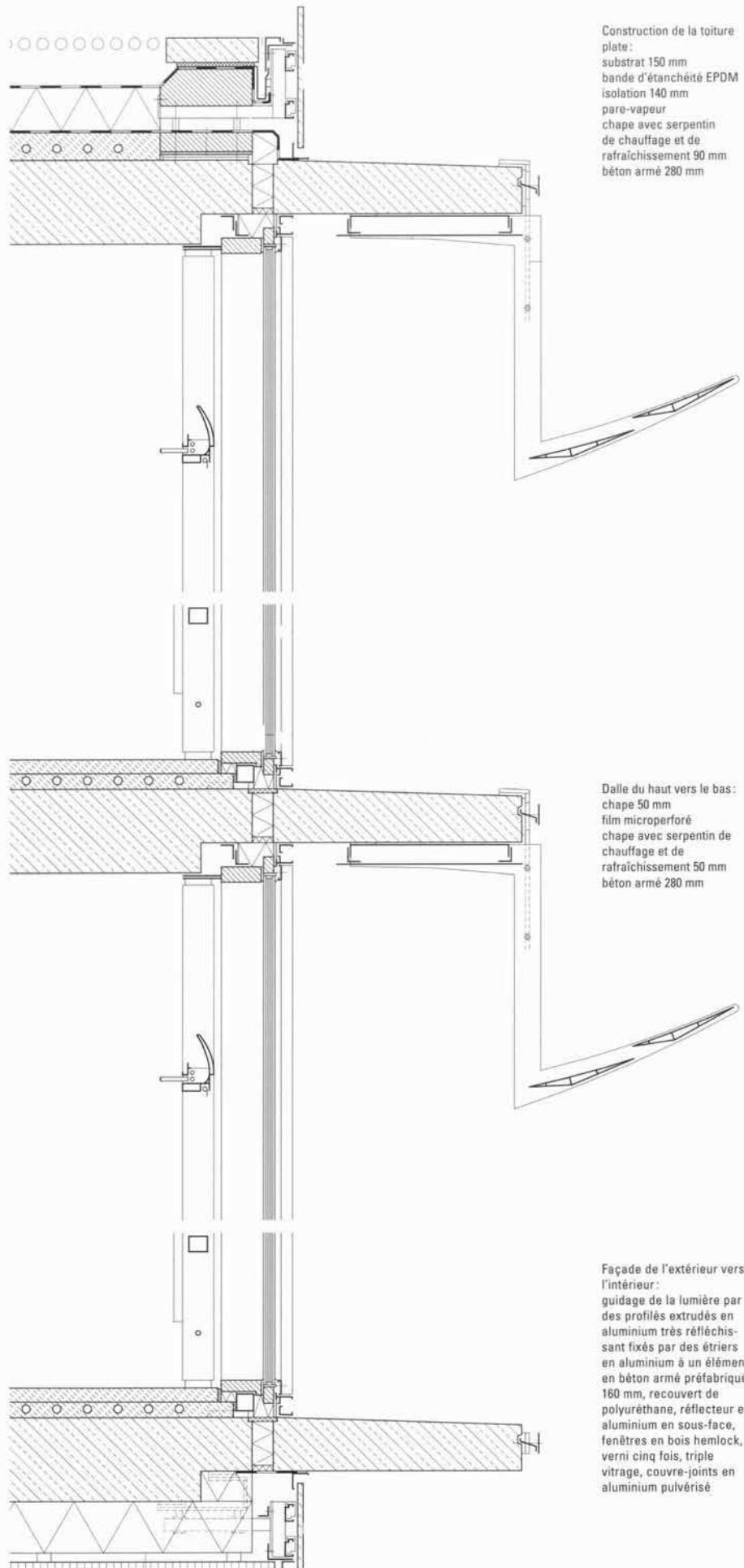


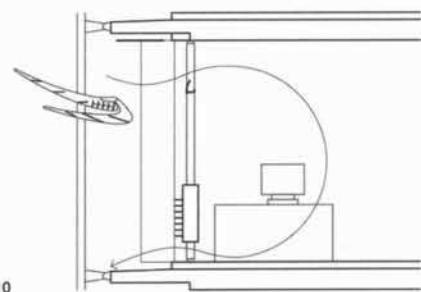
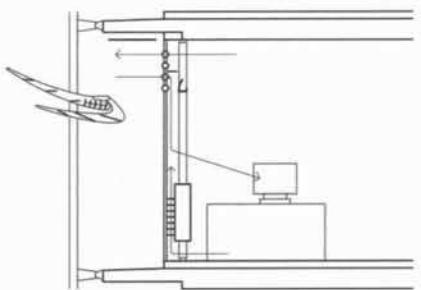
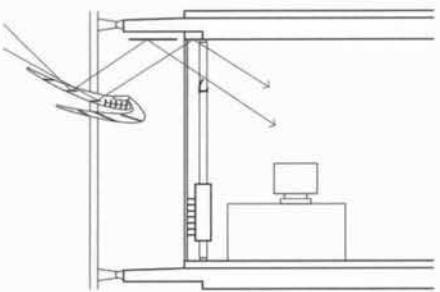
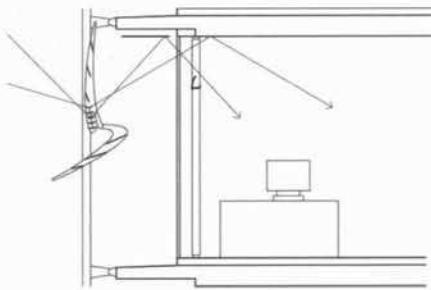
8

nord, ils dirigent la lumière zénithale vers le plafond dans la profondeur de la pièce. Du côté sud, un dispositif réglable a été mis au point pour diriger vers le plafond la lumière zénithale en cas de ciel couvert – de la même façon que pour la façade nord. En cas d'ensoleillement, il est possible de changer leur orientation par rotation. Le maximum d'ombre est assuré lorsque ces éléments de guidage de la lumière placés en hauteur sont tournés vers l'intérieur, le centre de la fenêtre permettant le passage à l'intérieur de la pièce de la quantité nécessaire de lumière naturelle directe. La partie basse est constituée par un élément qui apporte aussi de l'ombre. Une vue directe sur l'extérieur reste possible. À l'intérieur, la lumière artificielle est dirigée de façon indirecte par réflexion au plafond et de manière directe sur les plans de travail situés près des fenêtres. Dans le cas des pièces profondes du bâtiment de liaison, comme le restaurant, l'éclairage naturel est assuré par des ouvertures en bandeau récemment mises au point, qui optimisent l'apport de lumière naturelle.

Un aspect essentiel du concept technique de ce bâtiment réside dans la régulation individuelle des bureaux qui disposent d'un système de mise en veille pour économiser l'énergie. La pièce n'est en mode de fonctionnement total que lorsque l'utilisateur est présent. Son entrée déclenche la ventilation naturelle contrôlée reliée au convecteur et la lumière artificielle; grâce à un capteur, celle-ci complète la lumière naturelle de façon progressive.

La végétalisation intensive – et variée dans sa conception – de la toiture est une autre mesure compensatoire essentielle sur le plan écolo-gique. L'eau de pluie est recueillie et stockée dans des réservoirs avant d'être réutilisée pour l'arrosage artificiel de la toiture végétalisée. La ventilation naturelle du parking souterrain ouvert évite le recours à une ventilation et à une extraction mécaniques ainsi qu'à l'installation de sprinklers et de détecteurs d'incendie. Toutes les pièces, même les dépôts situés plus à l'intérieur, bénéficient de la vue sur les cours intérieures plantées.





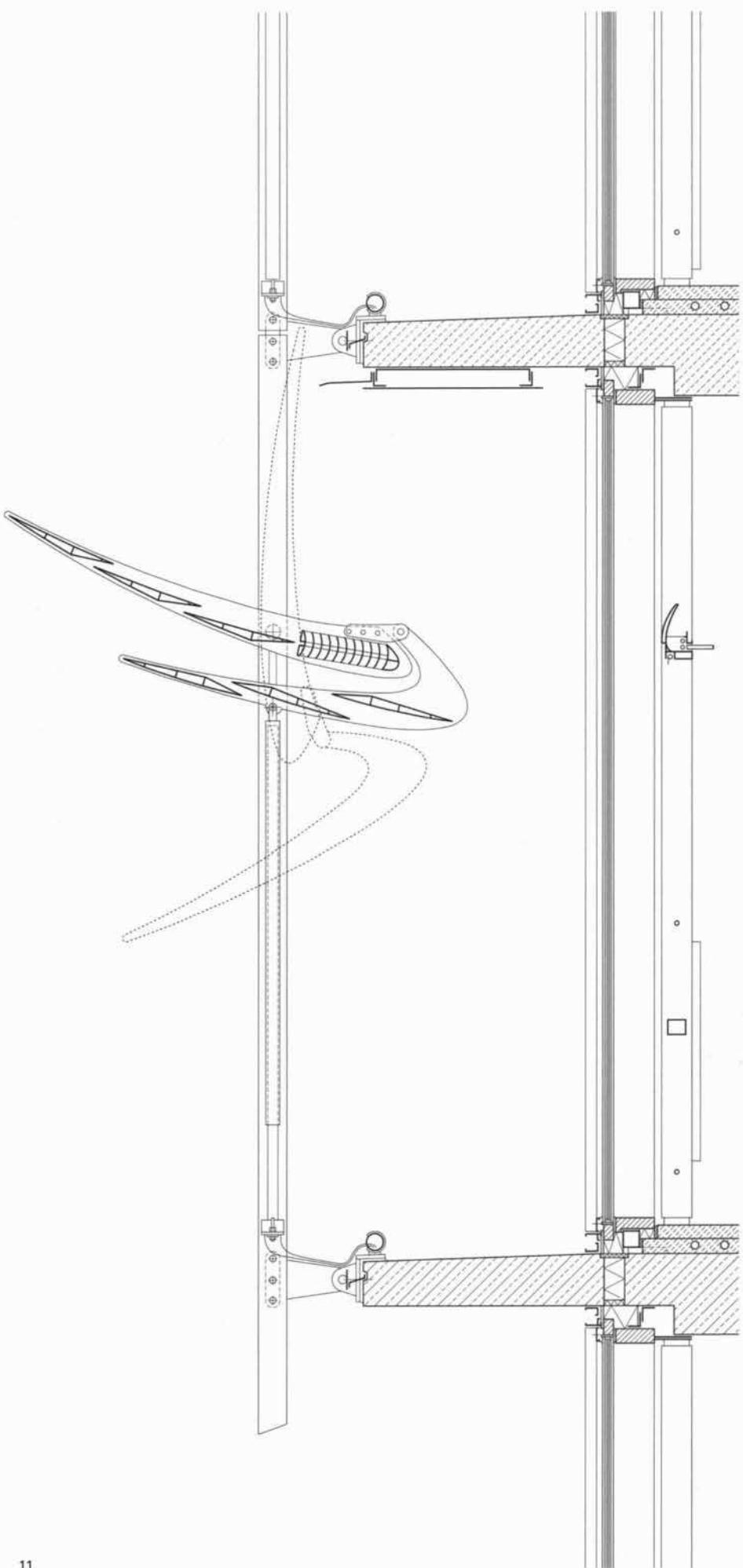
10

**10 Fonctions de la façade sud:**

- protection par ombre portée du rayonnement solaire direct
- guidage de la lumière naturelle par temps couvert (lumière zénithale)
- ventilation naturelle contrôlée et régulée de façon centralisée
- ventilation libre par les ouvrants de ventilation

**11 Coupe de détail de la façade sud, sans échelle, composants identiques à ceux de la façade nord avec en plus de grands éléments mobiles permettant le guidage de la lumière et la modification de l'ombre portée: un moteur de broche permet de passer à la position indiquée ci-dessus**

**12 Vue rapprochée**

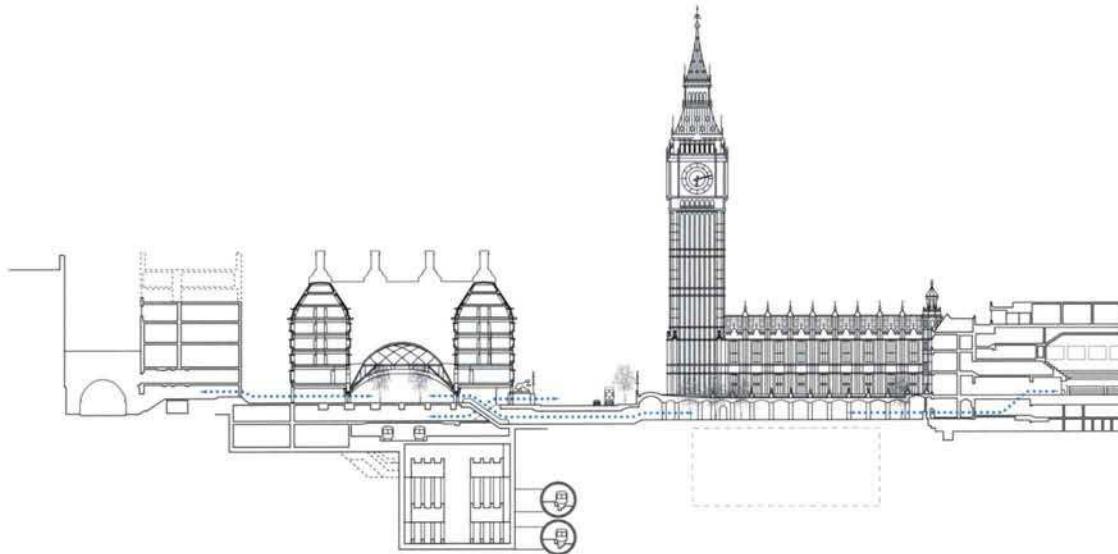


11



# Immeuble de bureaux durable: bâtiment du Parlement à Londres

Architectes:  
Hopkins Architects, Londres



1

## Informations sur le projet:

Livraison: 2000  
SHON: 22 811 m<sup>2</sup>

Besoins en énergie  
calculés: 90 kWh/m<sup>2</sup>/an

Coefficient U toiture plate:  
0,25 W/m<sup>2</sup>.K

Coefficient U mur extérieur:  
0,27 W/m<sup>2</sup>.K

Coefficient U fenêtre:  
0,15 W/m<sup>2</sup>.K

Construire un nouveau bâtiment pour 210 députés et leurs collaborateurs dans un site unique et remarquable en plein centre de Londres, juste à côté de Westminster Palace (architectes: C. Barry et A.W.N. Pugin) et de l'ancien bâtiment de Scotland Yard (architecte: Norman Shaw) sur la rive de la Tamise constituait une tâche complexe. La nécessité d'intégrer une station de métro à l'intersection de deux lignes n'a fait que compliquer la mission des architectes. Et pourtant, l'équipe des concepteurs comprenant l'agence Hopkins Architects et le bureau d'ingénierie Arup ont eu pour ambition de concevoir un bâtiment durable et énergétiquement efficace puis de le réaliser. Le programme « Joule II » de la Commission européenne a offert la possibilité de le faire dans le cadre d'un projet de recherche. La réduction des besoins en énergie pour la construction et le fonctionnement du bâtiment en cours ainsi qu'une utilisation aussi importante que possible des énergies renouvelables fut dès lors une des principales préoccupations.

Un bâtiment durable au sens où l'entendent Michael Hopkins et ses collègues doit mettre sur le même plan un excellent confort d'utilisation et

une esthétique ambitieuse. La forme qui en est résultée n'a pas emporté l'adhésion totale de la population et de la presse, bien au contraire. Peter Davey rappela toutefois dans son analyse parue dans la revue *Architectural Review* sous le titre « Commons Sense » que les bâtiments voisins avaient à l'époque soulevé les mêmes protestations. Le premier orage passé, les qualités de ce bâtiment ont aidé les gens à l'accepter. Les audacieuses et imposantes tours de ventilation lui confèrent structure et échelle. La reprise de motifs des bâtiments voisins facilite l'insertion dans la fameuse silhouette urbaine des bords de la Tamise. Augustus Pugin lui-même avait à l'époque habilement intégré les indispensables gaines d'évacuation dans ses lanterneaux d'inspiration gothique des Houses of Parliament. Les monumentales cheminées du bâtiment de Scotland Yard sont impossibles à ignorer. La mise au point formelle de la volumétrie et des éléments définitifs de façade s'est appuyée sur de nombreuses maquettes d'étude très détaillées. Aucun détail, si minime soit-il, n'a été laissé au hasard. Les bureaux des députés et de leurs collaborateurs sont regroupés autour d'une cour centrale recouverte d'une verrière. Les pièces donnant sur la rue sont équipées de bow-windows,



2

contrairement à celles sur cour. Le bruit et des raisons de sécurité expliquent l'impossibilité d'ouvrir les fenêtres.

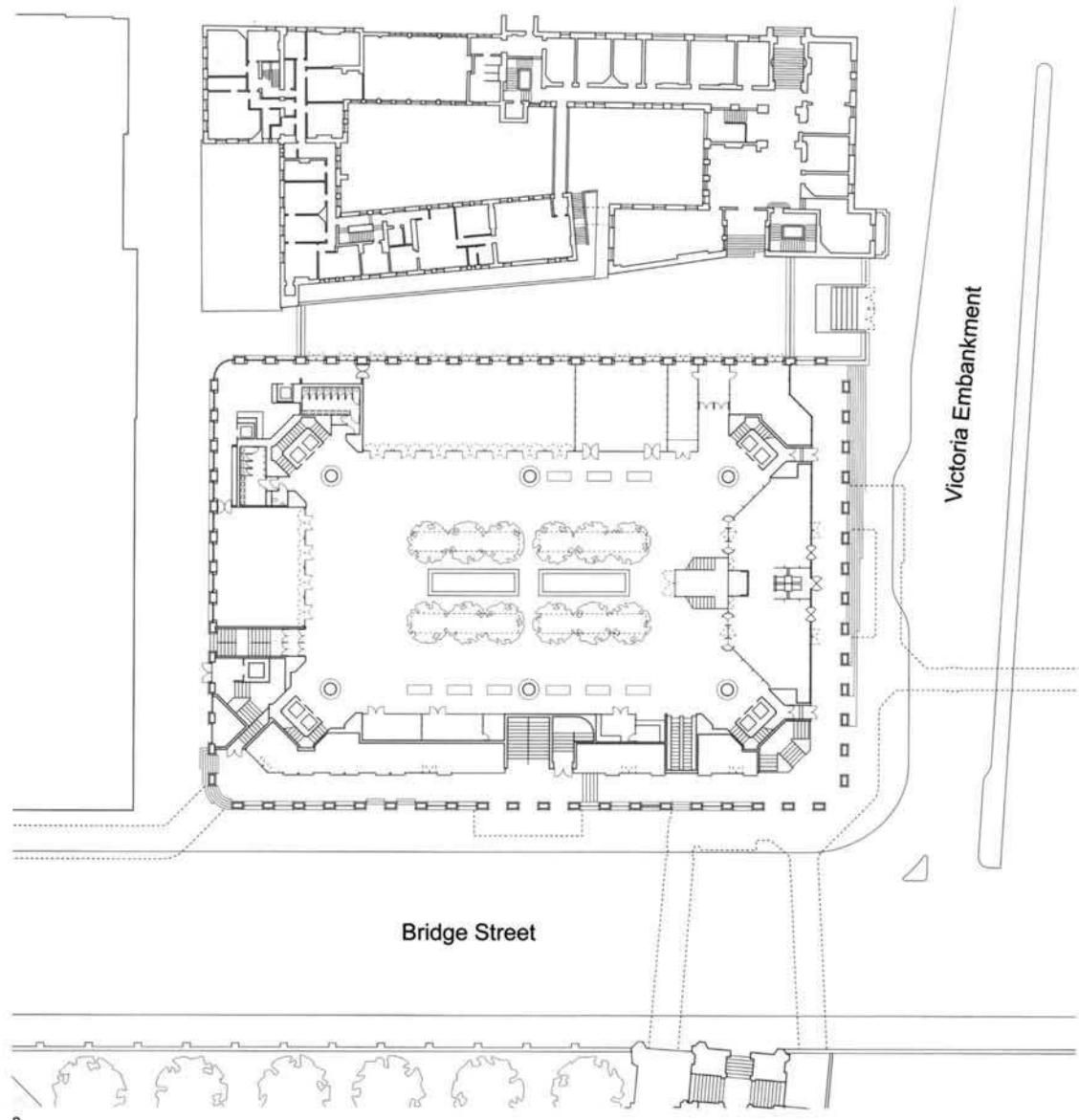
L'air que le bâtiment reçoit et qui le ventile est à 100% naturel. Il est aspiré à la base des énormes tours et préchauffé par un échangeur de chaleur rotatif. Sous la toiture, l'air neuf des bureaux est traité et conditionné. L'alimentation de chaque étage se fait par la paroi intérieure des façades. L'air neuf passe par les gaines entre planchers et faux plafonds puis arrive en tant qu'air neuf dans les bureaux, côté couloir. Un élément astucieusement construit contre la fenêtre augmente l'apport de lumière naturelle dans le bureau en intégrant un luminaire. On y trouve des liseuses (orientées donc vers le bas) ainsi qu'un éclairage indirect dirigé vers le plafond cintré qui apporte une lumière régulière. Le taux important d'éclairage naturel permet de réduire l'éclairage artificiel et donc d'économiser de l'énergie. Des ouvertures sont prévues dans la partie supérieure de l'ébrasement de la fenêtre pour l'évacuation de l'air. Le plafond en béton apparent très soigné et préfabriqué apporte l'indispensable masse d'inertie pour l'équilibrage des températures. L'ensemble du bâtiment dispose d'éléments d'inertie en nombre: poteaux bruts, voûtes,

dalles et parois en béton préfabriqué blanc. Durant les nuits d'été, le bâtiment est assaini et rafraîchi par l'air de façon naturelle, les charges thermiques de la journée étant ainsi évacuées. La sortie d'air se fait à l'extérieur de la façade, des deux côtés des piliers massifs en grès. Les gaines d'air, le revêtement de la toiture et les tours de ventilation sont en alliage d'aluminium et de bronze. Pour ce matériau innovant, il a fallu effectuer de laborieux essais de moulage et d'extrusion, contrôler les soudures et mettre au point des procédés de patine adaptés. Les fenêtres ont un triple vitrage et font office d'absorbeurs en hiver. La chaleur par rayonnement solaire est captée au moyen de stores sombres.

La chaleur fournie par l'air rejeté est captée par le système de ventilation. En été, l'air neuf prérafraîchi par l'eau souterraine est amené devant les fenêtres. Les appareils de climatisation classiques sont totalement absents du bâtiment. L'eau souterraine utilisée pour rafraîchir sert ensuite d'eau grise pour le nettoyage des toilettes, ce qui constitue la particularité de l'installation sanitaire. La consommation d'eau potable a aussi fortement diminué grâce à d'autres mesures.

1 Coupe des bâtiments voisins avec la station de métro située en dessous, sans échelle

2 Vue depuis la Tamise: Houses of Parliament avec Big Ben, Portcullis House, l'ancien bâtiment de Scotland Yard



3

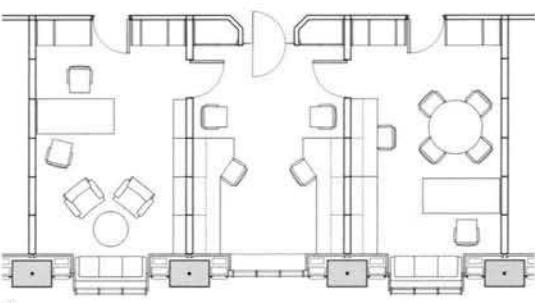
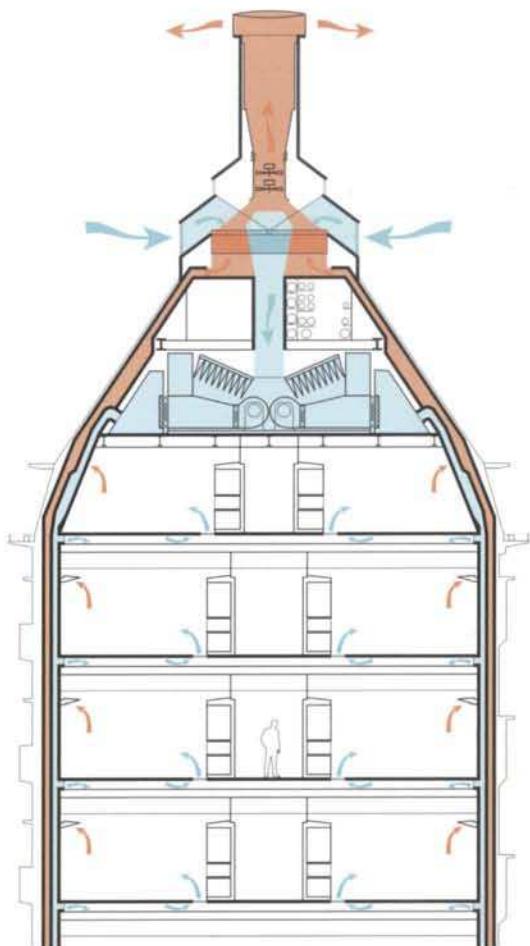
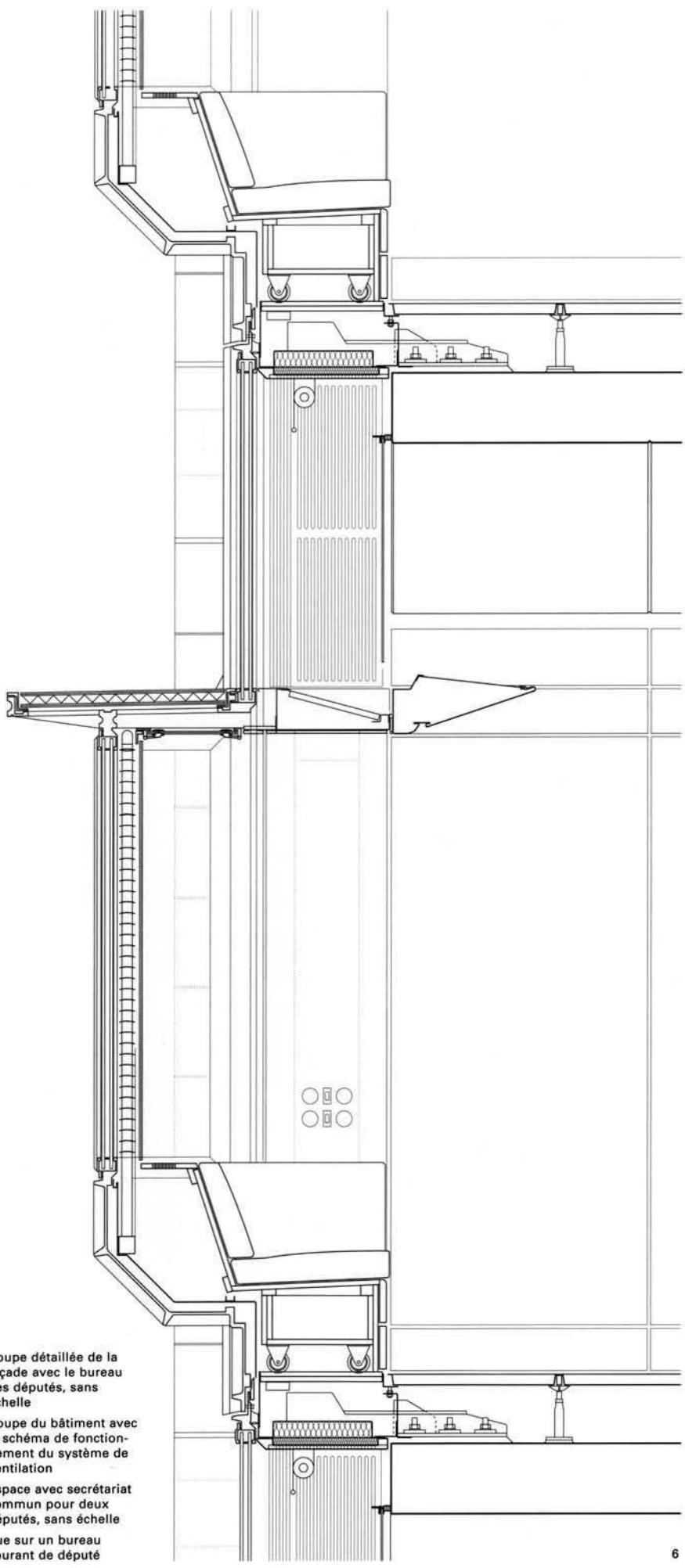


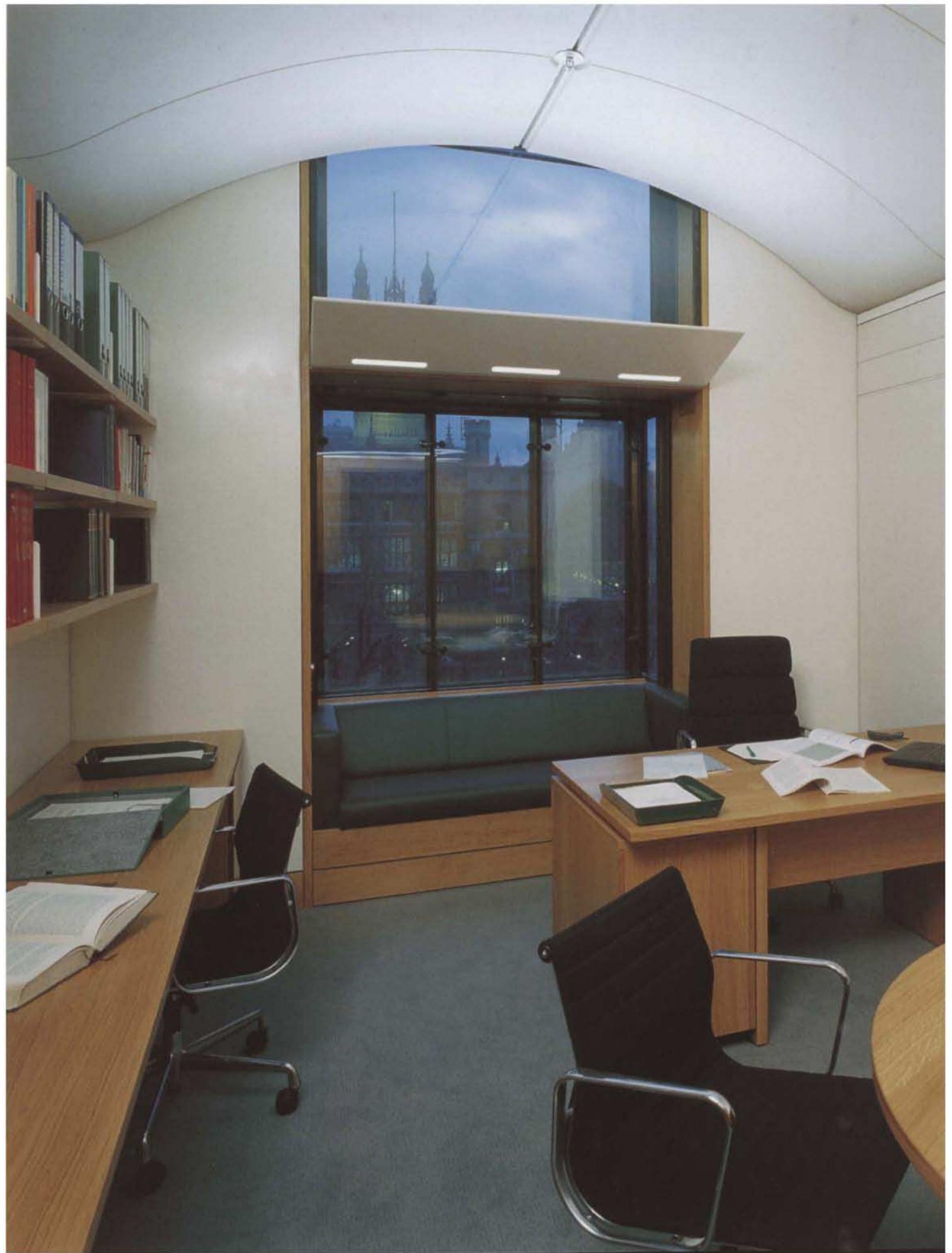
- 3 Plan au niveau de la rue avec la cour intérieure
- 4 Vue sur la façade depuis la cour intérieure
- 5 Vue partielle de la façade sur la cour intérieure avec la verrière

4

La cour intérieure recouverte d'une verrière et agrémentée de plusieurs arbres sert d'espace de communication et de détente. Ossature en chêne américain, éléments de liaison en acier inoxydable et verre confèrent à cet espace une note à la fois avenante et raffinée. On aperçoit, en haut, les espaces de travail. Les variations dans le traitement des façades sont sensibles de près. Les 120 années prévues pour ce bâtiment seront allègrement franchies.







## Écologie intégrée: bureaux et ateliers à Weidling

Architecte:  
Georg W. Reinberg, Vienne



1

### Informations sur le projet:

Livraison: 2003

SHON bureaux: 419 m<sup>2</sup>

SHOB bureaux: 499 m<sup>2</sup>

SHOB totale: 961 m<sup>2</sup>

Volume du bâtiment:

2 579 m<sup>3</sup>

(bureaux et ateliers)

Besoins en énergie  
calculés: 19,4 kWh/m<sup>2</sup>/an

Coefficient U toiture:

0,11 W/m<sup>2</sup>.K

Coefficient U mur extérieur:

0,18 W/m<sup>2</sup>.K

Coefficient U plancher  
rez-de-chaussée contre  
le sol: 0,19 W/m<sup>2</sup>.K

Coefficient U vitrage:  
0,7 W/m<sup>2</sup>.K

À l'origine spécialisée dans l'horticulture, l'entreprise réalise maintenant des étangs de baignade et des installations de phytoépuration. Un concours restreint a été organisé pour l'extension du bâtiment de production et d'administration. Le lauréat a habilement tiré parti des qualités de ce site marqué par un magnifique paysage environnant et sa mare naturelle.

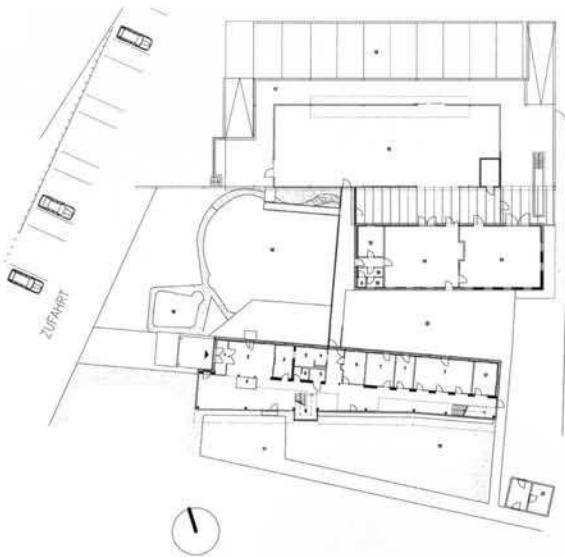
Les nouveaux bâtiments sont construits perpendiculairement à la pente et forment avec le rideau d'arbres des versants un vaste cadre pour le grand plan d'eau. L'aile des bureaux se trouve juste devant l'étang existant. La façade sud vitrée assure la liaison entre intérieur et extérieur. Les fonctions de desserte et de communication combinent astucieusement les dispositifs de protection solaire et l'utilisation des apports en énergie solaire. L'accès se fait en longeant la rive par la façade ouest, plus étroite. Un vaste hall d'accueil mène les clients vers un espace conseil à deux niveaux. Les ateliers et dépôts sont accessibles au nord grâce à une passerelle ouverte mais abritée. La desserte de cette partie est nettement séparée de l'espace clients.

L'espace extérieur est une partie essentielle du contact avec le client. L'entreprise peut en effet

y déployer toute la palette de ses prestations. Une membrane étanche pour l'étang et un système d'enrichissement en dioxyde de carbone de l'eau sont les principaux composants techniques. En passant par un chemin qui traverse le terrain et par des passerelles au ras de l'eau, les visiteurs peuvent apprendre à connaître différents biotopes. Le concept développé autour de l'eau met en valeur les espaces extérieurs et en détermine l'aménagement. La végétation des rives s'est constituée au fil du temps ; la grande étendue d'eau est apte à la baignade. Des passerelles divisent les zones offrant différents types de plantations. Dans la partie au sud-est, l'ensemble des eaux usées est traité par une installation de phytoépuration. L'ensemble des eaux de toiture est recueilli dans un bac d'infiltration situé entre les bâtiments et qui fait bien sûr partie de l'aménagement des espaces extérieurs.

L'aile des bureaux est sur toute sa longueur divisée par un mur en béton servant de masse d'inertie ; le reste de la structure est réalisé en contreplaqué très isolé. La façade sud allie le bois et le verre.

Des simulations thermiques ont permis d'optimiser sur le plan énergétique le fonctionnement



2

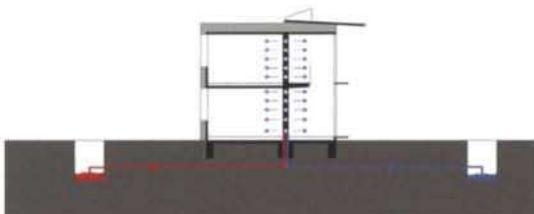


3

4



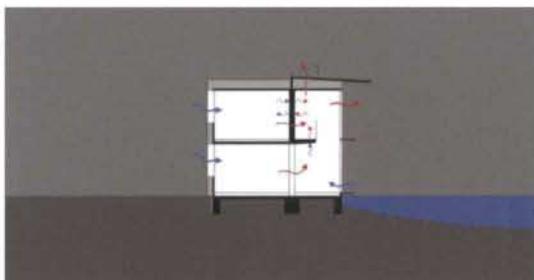
- 1 Façade sud
- 2 Plan de masse avec les différentes parties: bâtiments d'administration avec le plan d'eau de baignade situé devant, les ateliers, le dépôt, les accès, sans échelle
- 3 Vue sur les deux niveaux de l'espace de distribution
- 4 Façade nord avec l'étang et l'accès à l'atelier



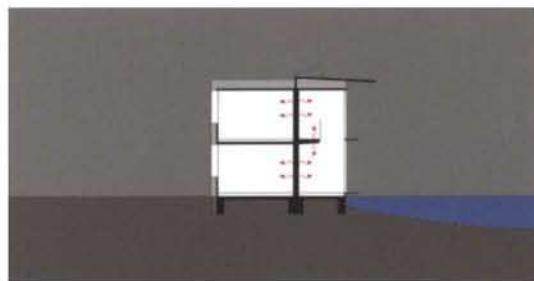
5



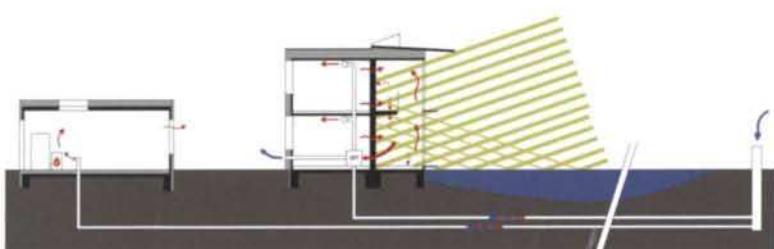
9



6



7



160

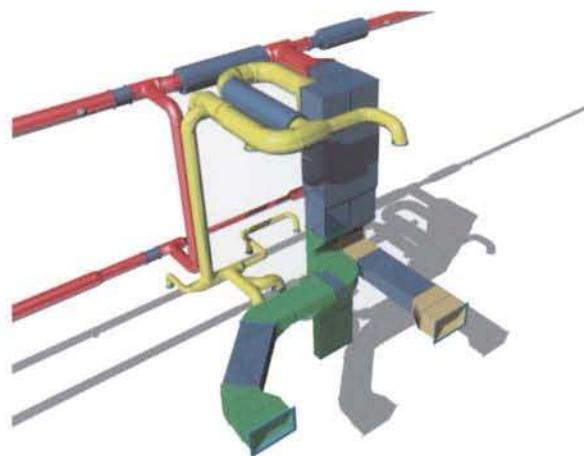
- 5 Activation du système intégré au noyau en béton assurant le rafraîchissement par l'eau souterraine en été
- 6 Schéma de ventilation pendant une nuit d'été
- 7 Schéma de ventilation pendant une nuit d'hiver: le mur, masse d'inertie, comme source de chauffage
- 8 Journée ensoleillée en hiver
- 9 Le bâtiment de nuit
- 10 Coupe de la façade sud avec les capteurs solaires. La protection solaire est assurée par la grande avancée du toit et, si nécessaire, par les stores descendus en partie basse
- 11 Schéma de ventilation
- 12 Bureau avec la gaine de ventilation apparente
- 13 Schéma de collecte des eaux pluviales et des eaux usées

du bâtiment et de développer des solutions durables pour le chauffage, la protection solaire, l'installation solaire thermique et l'élaboration d'un concept de ventilation, indispensable. On a tenté à cette occasion de mettre en jeu simultanément tous les aspects essentiels liés à l'énergie et au confort du bâtiment. Les simulations ont donné les résultats suivants: construit comme il est, le bâtiment se refroidit si lentement qu'il résiste dix jours à une interruption de l'installation sans avoir besoin de chauffage pour rester à l'abri du gel. Cela est dû à la forte isolation de 20cm des murs extérieurs, à une toiture de 30cm d'épaisseur ainsi qu'au triple vitrage isolant. Une surface de 16m<sup>2</sup> de capteurs intégrés dans la façade sud assure le chauffage et une chaudière à bois combinée à deux ballons « tampons » de 1500 litres chacun. Le chauffage solaire fonctionne sans intervention du personnel et sert à tempérer les bureaux même lors des vacances de Noël.

L'air neuf est introduit dans les bureaux et extrait dans les sanitaires et la kitchenette après avoir traversé le hall. L'air peut passer des bureaux au couloir par un jour de 7 à 10mm ménagé sous les portes. L'été, le confort est assuré par trois sondes géothermiques et une installation de récupération de chaleur réglable qui équilibrivent ainsi le concept énergétique. La protection solaire est adaptée et optimisée en tenant compte des composants du rafraîchissement de l'air et du refroidissement par l'eau souterraine. On a pu ainsi préserver la vue pour profiter en permanence du magnifique paysage que constitue



10



11

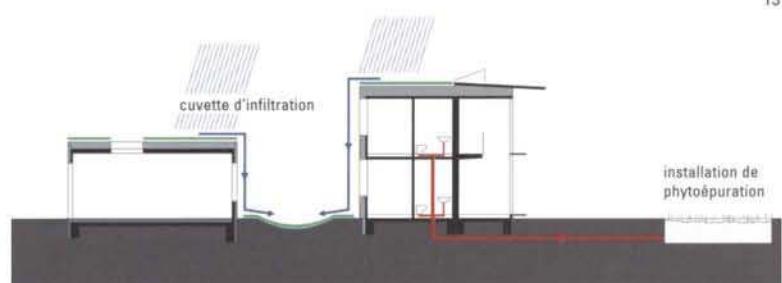
le plan d'eau. Par contre, le couloir doit être fortement ventilé, sans interruption, durant les nuits d'été. Le mur d'inertie central peut être aisément tempéré par l'eau souterraine, sans recourir à de complexes équipements techniques. L'influence positive sur le confort estival se ressent très nettement: les températures intérieures n'ont pas dépassé 26 °C, même lors de l'été caniculaire de 2003.

Les simulations informatiques ont prouvé qu'isolation thermique optimale pour l'hiver et confort estival ne s'excluent pas forcément. Les concepteurs ont aussi tâché de réduire au minimum l'installation technique. De toute façon, les équipements utilisés – comme l'aspiration des poussières des machines à bois et l'approvisionnement en eau de l'étang – ont tout de suite été intégrés dans le concept écologique du bâtiment.

Le système constructif reprend l'esprit du concept énergétique. En plus du long mur de béton traversant – qui peut être utilisé grâce à l'activation du système intégré au noyau en béton pour le rafraîchissement ou le chauffage –, le reste du bâtiment est en panneaux de contreplaqué. La toiture et les façades sont très bien isolées avec de la laine minérale posée de façon à être imperméable à l'air. Toutes les exigences fonctionnelles et esthétiques ont ainsi été satisfaites.



12



13

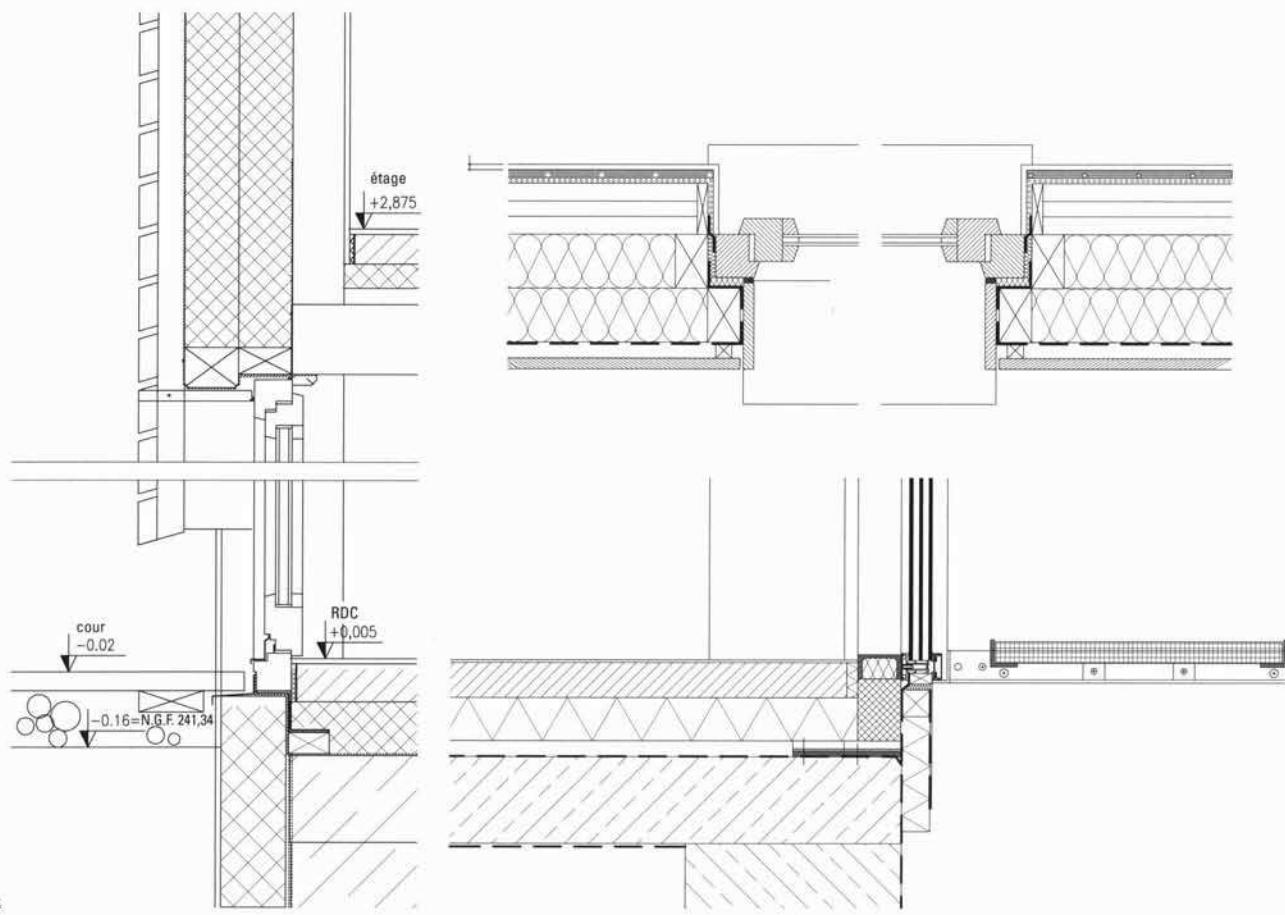
14 Coupe transversale du bâtiment, sans échelle

15 Coupe de détail de la façade nord, coupe verticale de la porte extérieure et coupe horizontale de la façade sud avec le plâtrage bois au-dessus du plan d'eau  
Construction de la façade nord, de l'extérieur vers l'intérieur:  
bardage mélèze 3,5 cm,  
lattage bois 4/5,  
vide d'air 3 cm,  
film résistant aux UV comme pare-vent,  
laine minérale 20 cm entre les montants en bois,  
panneau plein en bois 9,8 cm,  
natte de roseau 1 cm,  
système de chauffage 1,5 cm,  
enduit en terre glaise 1 cm, sans échelle

16 Façade ouest avec l'entrée principale



14



15



## Bâtiment d'entreprise au standard passif: immeuble d'activités à Steyr

Architecte:  
Walter Unterrainer, Feldkirch



1

### Informations sur le projet:

Livraison: 2002

Surface totale bureaux: 1 042 m<sup>2</sup>

Volume des bureaux: 4 015 m<sup>3</sup>

Surface totale de l'entrepôt: 572 m<sup>2</sup>

Volume de l'entrepôt: 2 630 m<sup>3</sup>

Besoins en énergie pour le chauffage: 14 kWh/m<sup>2</sup>/an

Coefficient U toiture plate: 0,10 W/m<sup>2</sup>.K

Coefficient U mur extérieur: construction légère 0,12 W/m<sup>2</sup>.K

Coefficient U dalle rez-de-chaussée: 0,20 W/m<sup>2</sup>.K

Coefficient U plafond sous-sol: 0,20 W/m<sup>2</sup>.K

Coefficient U vitrage sud et ouest: 0,5 W/m<sup>2</sup>.K

Coefficient U vitrage nord et est: 0,9 W/m<sup>2</sup>.K

Coefficient U fenêtre: 0,82 W/m<sup>2</sup>.K

Le maître d'ouvrage est une entreprise d'installations techniques établie de longue date à Steyr qui emploie environ 70 personnes; elle est depuis quelques années pionnière au niveau régional dans le domaine des équipements énergétiquement efficaces. Par son enveloppe et ses installations écologiques apparentes, le nouveau bâtiment d'entreprise au standard passif expose à tous les clients sa philosophie d'entreprise.

La situation urbaine de ce bâtiment d'activités est contradictoire et confuse. L'ensemble de la zone d'activités est caché derrière un mur antibruit de 3 m de haut et n'est accessible que par des chemins tortueux. Par son emplacement et ses proportions, la construction tient compte du bâtiment voisin; protégé au titre de monument historique, celui-ci se développe autour d'une cour carrée et est appelé à connaître dans les années à venir une nouvelle affectation.

L'objectif consistait à construire un immeuble de bureaux économique, adapté aux besoins, flexible et qui, en outre, devait être réalisé rapidement tout en répondant à des exigences écologiques élevées. La solution a consisté en une synthèse associant une conception fonctionnelle, une installation technique économique en énergie et une réduction des délais de construction par la préfabrication. Les exigences relatives à la qualité architecturale et à la fonctionnalité ont d'ailleurs été satisfaites sans que soient pour autant négligées l'image du bâtiment ou l'esthétique des détails.

L'ensemble se compose de deux corps de bâtiment, l'un sur deux niveaux destiné à la vente et aux bureaux, l'autre servant d'entrepôt et d'ateliers, sur un seul niveau (mais haut). Entre les deux corps se trouve une cour intérieure plantée destinée aux clients avec un escalier

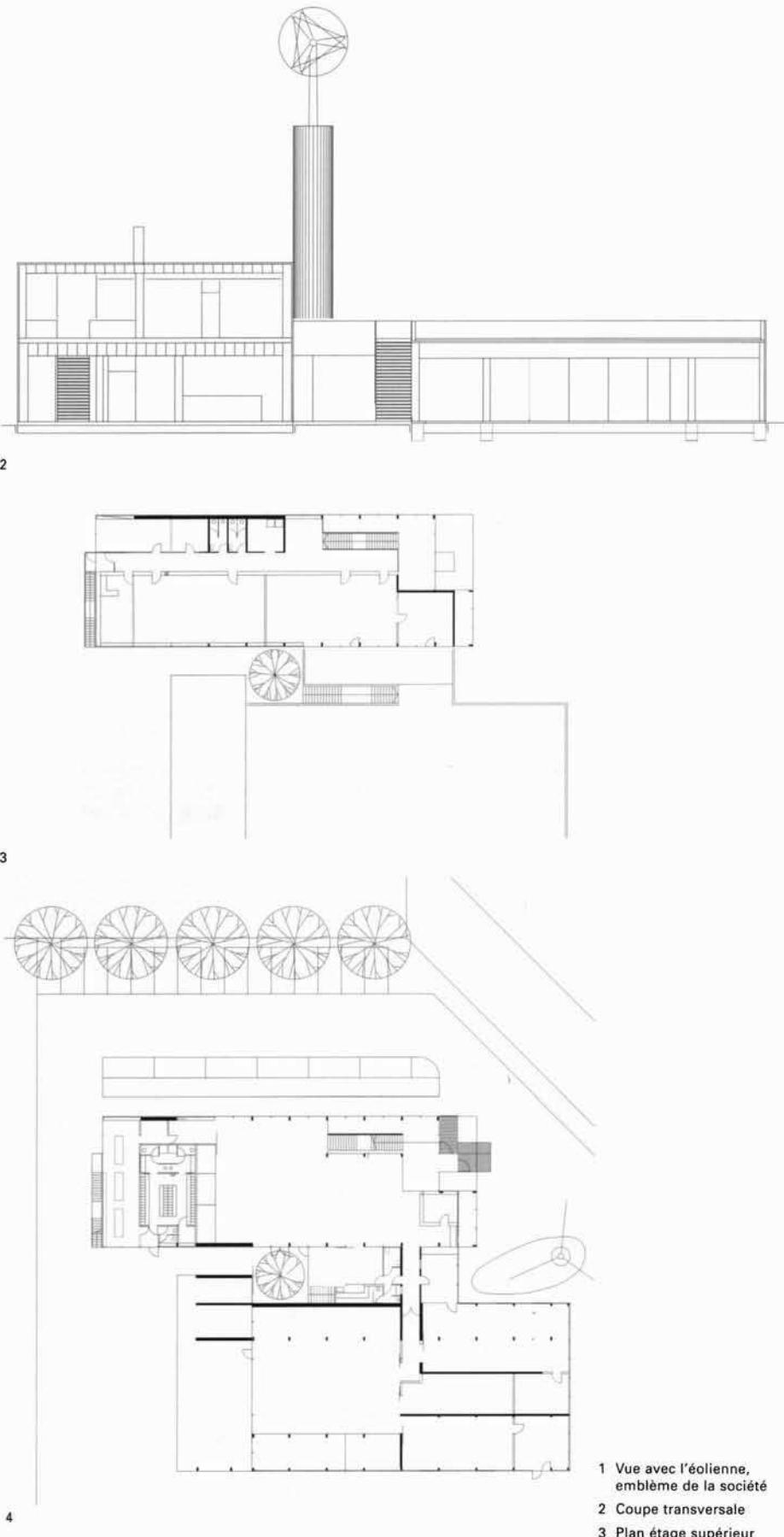
conduisant à la surface de vente située sur le toit de l'atelier. C'est là que sont exposés, présentés et expliqués aux clients les différents capteurs et éléments photovoltaïques.

Les fonctions sont clairement distinctes: un grand avant-toit signale l'accès et l'entrée du public. Dans la partie arrière se trouvent les zones de chargement couvertes et les espaces contigus occupés par les employés. À l'intérieur, le vaste hall d'entrée occupe deux niveaux; il relie la surface de vente du rez-de-chaussée et l'administration à l'étage. Les vitrages sur deux niveaux tiennent lieu d'immense vitrine. Des possibilités d'extension verticale ont été prévues du point de vue statique et constructif.

L'immeuble de bureaux a été le premier d'Autriche à répondre au standard passif; il a été certifié en tant que tel par l'Institut de la maison passive en Allemagne. Le bâtiment montre que même des constructions très économies en énergie n'ont en aucun cas à faire des compromis qui nuiraient à leurs qualités spatiales. Transparence, fonctionnalité, liaisons spatiales verticales et multiples vues sur l'extérieur ne s'opposent pas à un excellent bilan énergétique. Les détails parfois inhabituels mis au point pour les maisons passives tiennent compte de la clarité de conception, de l'adéquation aux moyens mis en œuvre et de l'optimisation des coûts.

Le concept énergétique repose sur les mesures techniques exposées aux clients comme objets de représentation. Tous les composants (y compris les sous-composants comme par exemple les collecteurs géothermiques) sont accessibles et montrés aux personnes que la norme maison passive intéresse. Il s'agit notamment d'une ventilation contrôlée avec récupérateur de chaleur et installée en apparent, d'un collecteur géothermique visible, d'une installation de chauffage par biomasse avec des granulats de bois (pellets), d'une autre de production d'électricité photovoltaïque, d'un dispositif de récupération des eaux pluviales, etc.

Le concept de climatisation comprend un collecteur géothermique en tubes de polyéthylène



1 Vue avec l'éolienne, emblème de la société

2 Coupe transversale

3 Plan étage supérieur avec l'administration et les surfaces d'exposition sur le toit de l'entrepôt et de l'atelier

4 Plan rez-de-chaussée avec l'espace de vente, l'entrepôt et l'atelier, sans échelle



5 Les bureaux au niveau supérieur et l'espace de vente au rez-de-chaussée sont reliés entre eux.



6 Test Blower-Door: les résultats du premier essai sont excellents

avec un échangeur de chaleur qui préchauffe ou rafraîchit l'air extérieur selon les besoins. Après récupération de chaleur, le système de chauffage automatique couvre les besoins en chauffage restants. Ceux-ci, déjà fortement diminués grâce aux mesures prises lors de la conception du bâtiment, sont en grande partie assurés par des sources d'énergie naturelles exploitées par une pompe à chaleur et des capteurs solaires. Une chaudière à granulats de bois couvre le reste des besoins.

Les besoins électriques sont assurés pour près d'un tiers par une éolienne et par l'installation photovoltaïque située en toiture et sur la tour. L'installation est appelée à être augmentée jusqu'à couvrir la totalité de la consommation. Une station-service de gazole bio a été installée sur le parking.

Le plan d'aménagement interdit les constructions verticales et les enseignes voyantes. Visible au-dessus du mur antibruit et placée entre les deux bâtiments, la tour d'éclairage et de signalétique est recouverte de panneaux en polycarbonate, équipés de cellules photovoltaïques; elle est, de plus, surmontée d'une éolienne d'une puissance de 5 kW. Après de sérieuses protestations, cette tour élancée et optimisée du point de vue statique a toutefois été acceptée comme une mesure permettant la production d'énergie à petite échelle. En tant qu'élément visuel nocturne, elle manifeste une philosophie d'entreprise consciente de l'énergie; elle constitue enfin un point de mire bien visible et affirmé.

Les deux corps de bâtiment sont en structure bois montée en un temps record sur un sous-sol partiel.

La construction en bois repose sur un radier en béton isolé de 30 cm. La trame de construction est de 400 cm. Les façades ont une trame générale de 2 m. Les joints sont recouverts de profilés d'assemblage en fibrociment sur un joint de drainage, calfeutré et imperméable à l'air. Cette solution est moins chère que des couvre-joints en aluminium, demande moins d'énergie grise et limite le nombre des ponts thermiques.



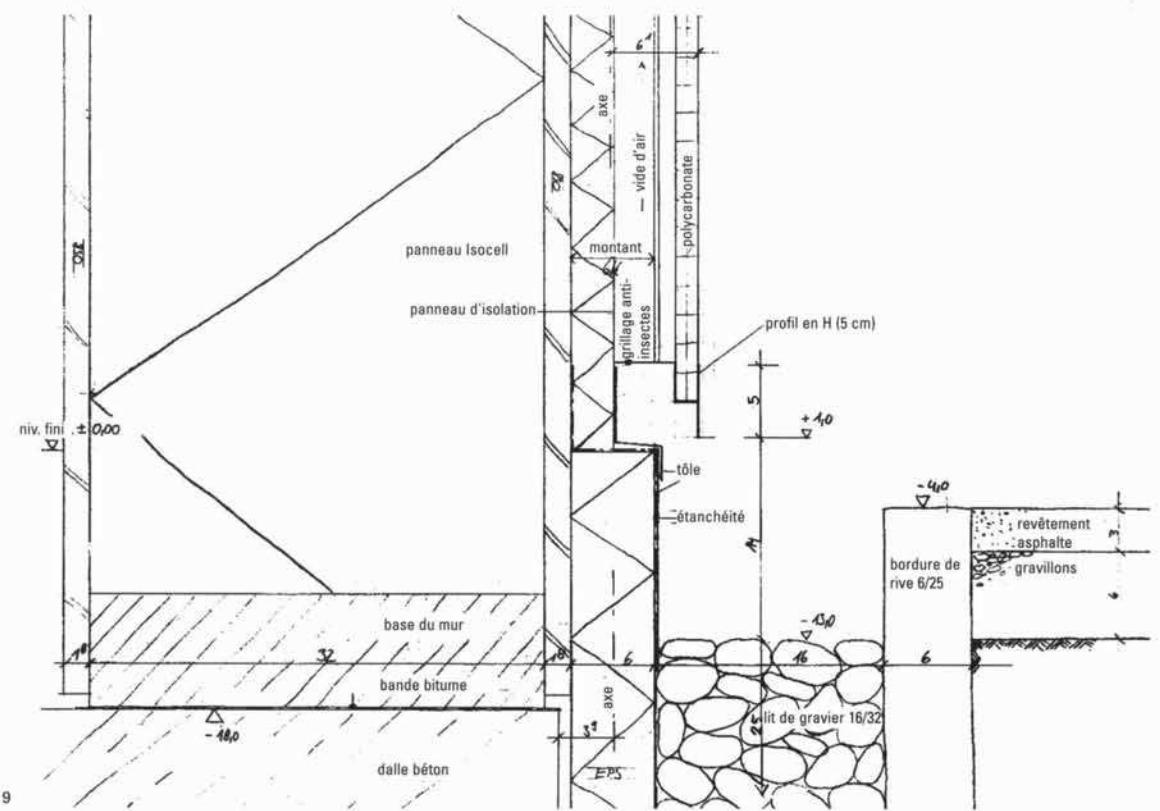
7



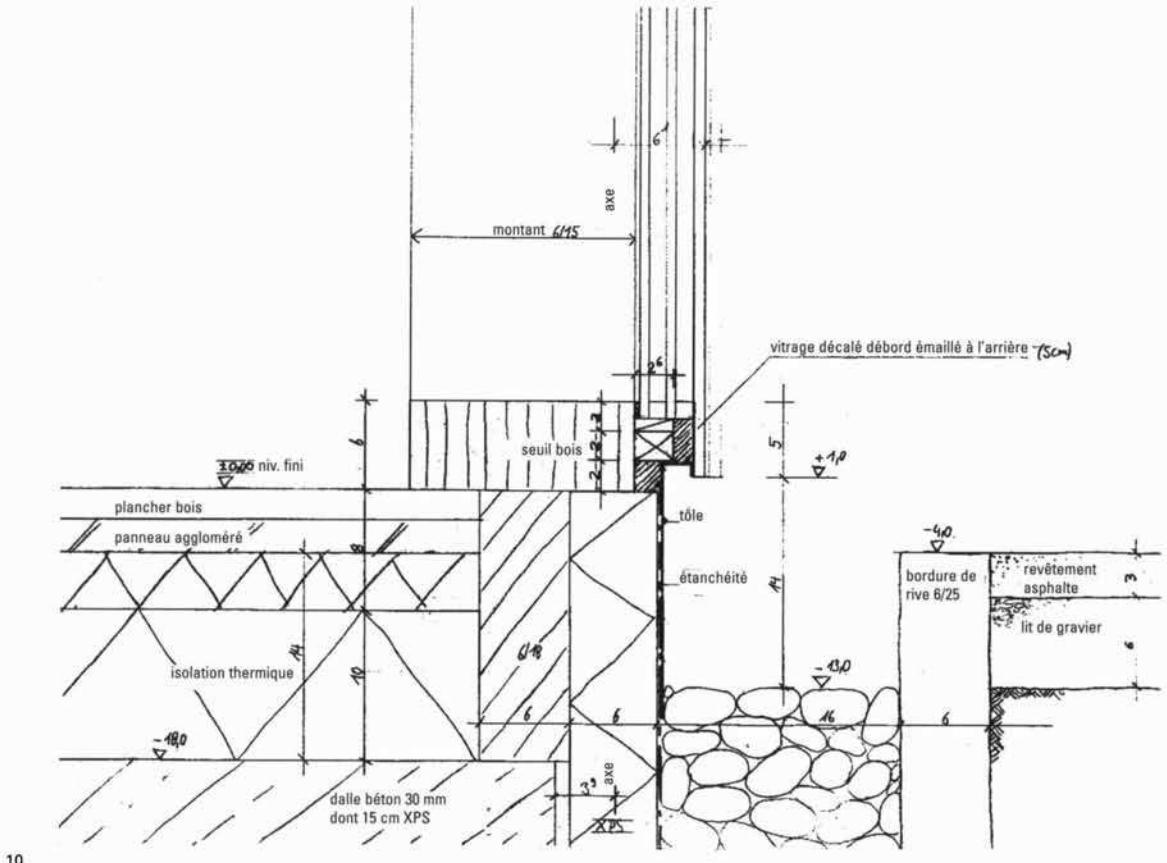
8

7 Vue sur l'entrée avec l'avant-toit et la porte à tambour

8 Niveau supérieur avec les vastes et attrayantes surfaces d'exposition sur le toit de l'entrepôt et de l'atelier



9



10

- 9 Détail bas, façade fermée, sans échelle
- 10 Détail bas, façade vitrée, sans échelle
- 11 Montage des éléments en bois préfabriqués
- 12 Montage et étanchéité de la toiture plate
- 13 Montage de la façade par éléments en triple vitrage de 2 x 4 m



11

Dès le premier essai, la mesure de la pression différentielle (test Blower-Door) a donné une valeur inférieure à 0,5 h<sup>-1</sup>.

Dans les parties transparentes, les façades sont en triple vitrage isolant à la dimension la plus importante possible, soit 200 x 400cm. Ces grandes vitres assurent au bâtiment de belles perspectives sur l'intérieur ou vers l'extérieur. Dans le même temps, cela permet une réduction maximale des joints et des ponts thermiques liés aux vitrages. Les huisseries représentent aussi le point faible des fenêtres des maisons passives. Une réduction de la proportion des châssis – avec une isolation moindre et des éléments moins coûteux – permet d'atteindre le même coefficient U que les fenêtres « classiques » des maisons passives qui ont des joints et des huisseries plus larges.

Les surfaces opaques sont constituées d'une structure de montants et traverses en bois, avec une isolation de 32cm au centre, et des panneaux OSB des deux côtés. À l'intérieur, une couche d'installation est prévue derrière le pare-vapeur. À l'extérieur, les murs sont revêtus de panneaux en polycarbonate d'une hauteur d'étage. Ces panneaux servant d'enveloppe sont durables, économiques et leur bilan écologique est légèrement meilleur que celui du verre. Ils sont disponibles en éléments de 200 x 600cm. Posés verticalement, ils laissent apparente l'isolation thermique en panneaux de fibres de bois peints en jaune, la couleur emblématique de l'entreprise.

Une construction économique, insensible aux intempéries, grâce à la préfabrication en atelier et à une gestion de la logistique au cours du chantier ont permis de rester dans la limite des coûts des bâtiments d'activités traditionnels, avec cependant une bien meilleure performance énergétique – sans oublier des coûts d'exploitation bien inférieurs et une précision dans l'exécution nettement plus grande.



12



13

# Établissement scolaire au label basse énergie: école de Pichling

Architectes:  
Loudon + Habeler, Vienne



1

## Informations sur le projet:

Livraison : 2003

SHON : 5 015 m<sup>2</sup>

SHOB : 5 901 m<sup>2</sup>

Volume du bâtiment:

27 351 m<sup>3</sup>

Besoins en énergie pour le chauffage: 34,8 kWh/m<sup>2</sup>/an

Coefficient U toiture plate: 0,15 W/m<sup>2</sup>.K

Coefficient U mur extérieur du gymnase: 0,17 W/m<sup>2</sup>.K

Coefficient U mur extérieur aile des salles de classe en pignon et allèges: 0,19 W/m<sup>2</sup>.K

Coefficient U radier rez-de-chaussée: 0,6 W/m<sup>2</sup>.K

Coefficient U fenêtre et cadre: 1,1 W/m<sup>2</sup>.K

L'histoire de la Solarcity de Linz remonte au début des années 1990. Le centre-ville ne disposant pratiquement plus de terrains disponibles pour la construction de logements, on a pris la décision de lancer un ambitieux projet d'extension urbaine. Un premier concept d'aménagement a été élaboré par Roland Rainer, amélioré quant à sa possibilité d'être subventionné par les partenaires du groupe READ (Foster, Rogers, Herzog) et amplifié par Martin Treberspurg, lauréat d'un concours. Il s'agit de 1317 logements complétés de façon fonctionnelle par des équipements collectifs, une école maternelle et une école.

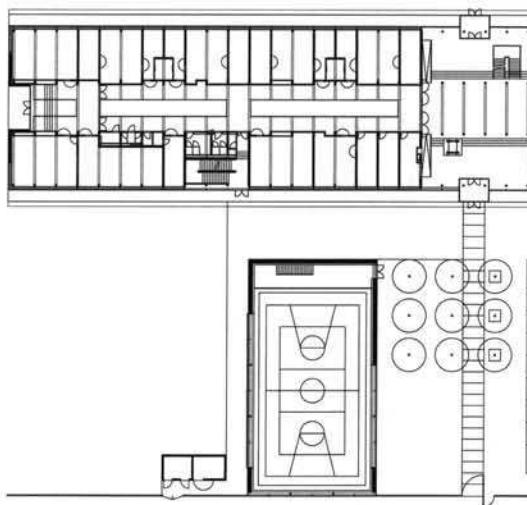
Bien desservi, l'établissement scolaire est situé au milieu d'un terrain assez grand pour recevoir une extension, des espaces pour le sport et la détente. Les deux niveaux du bâtiment abritent les salles de classe et des espaces pour la garderie. Le gymnase, placé en sous-sol, est relié au corps principal. Une seconde phase prévoit la construction d'un établissement d'enseignement supérieur de douze classes avec une salle de gymnastique trois fois plus grande que l'actuelle.

Un hall de distribution continu bénéficiant d'un éclairage zénithal relie entre elles de façon naturelle et agréable la garderie du rez-de-chaussée et les salles de classe à l'étage. Les façades longitudinales sont équipées de pare-soleil réglables; ils assurent une utilisation passive maximale de l'énergie solaire. La toiture est en partie praticable et accueille les classes en plein air quand le temps le permet. Les autres surfaces reçoivent une végétation extensive. Par le hall très lumineux, les salles de classe bénéficient de la lumière naturelle des deux côtés grâce à un bandeau vitré en imposte: l'éclairage est donc optimal et régulier.

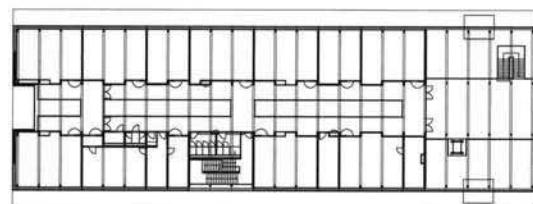
Parallèlement aux dispositions prises sur le plan de la physique du bâtiment pour les fenêtres et les façades, une installation de récupération de chaleur et un capteur géothermique pour le préchauffage ou le rafraîchissement de l'air neuf complètent le système à basse énergie. L'air neuf passe côté couloir à travers un régulateur de débit avant d'être insufflé par des bouches dans les salles de classe.



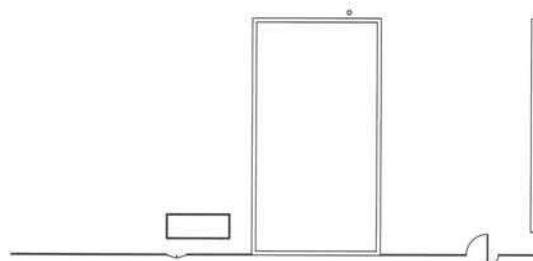
2



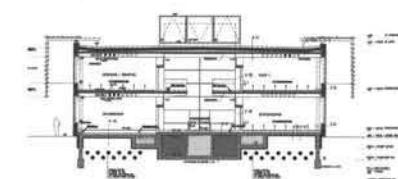
4



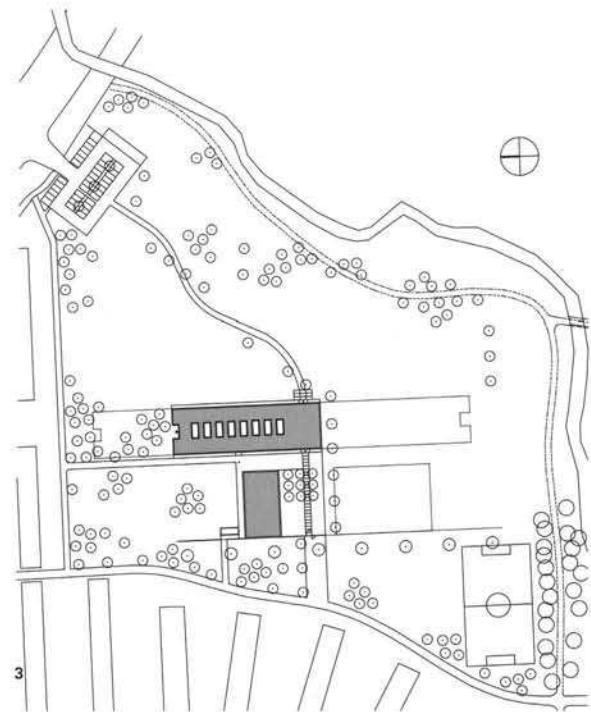
5



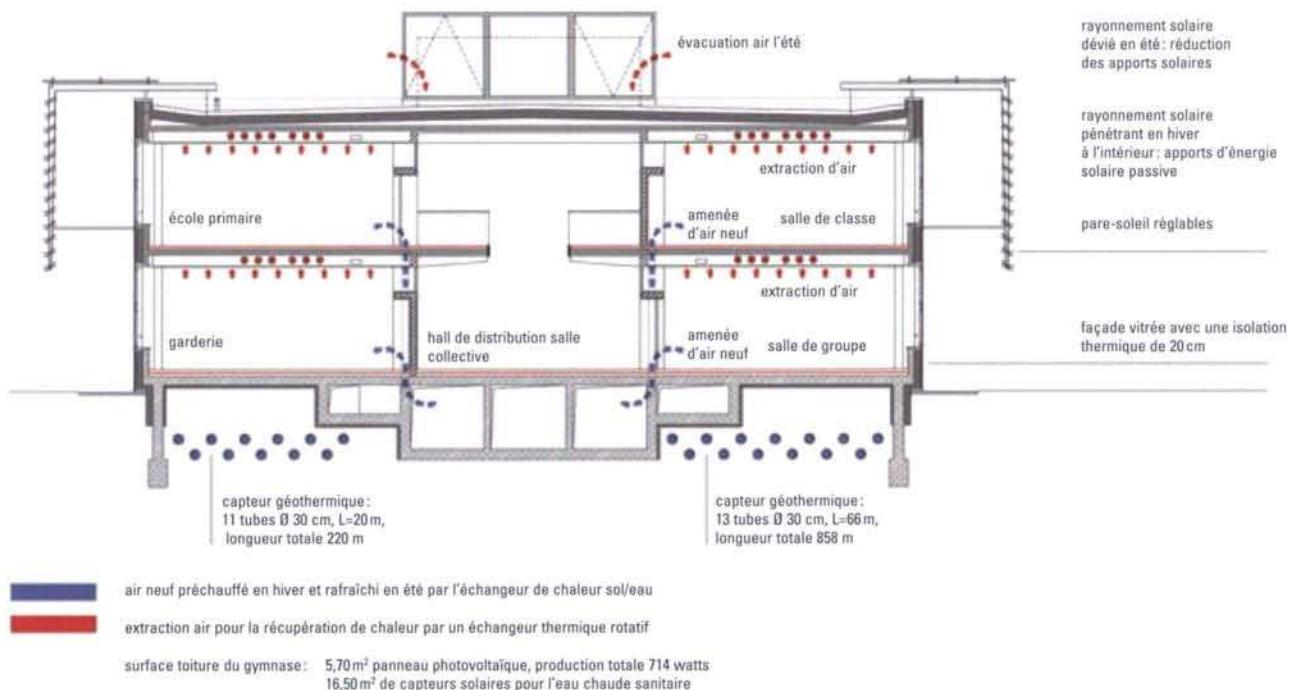
6



7



- 1 Entrée
- 2 Vue sur le hall à deux niveaux
- 3 Plan de masse, sans échelle
- 4 Plan rez-de-chaussée école et salle de gymnastique, sans échelle
- 5 Plan étage
- 6 Coupe sur le gymnase et la liaison avec les salles de classe, sans échelle
- 7 Coupe transversale sur le bâtiment des salles de classe avec l'équipement technique, sans échelle



8

L'air est extrait de façon régulière dans le plenum et conduit vers un collecteur d'air central. Un échangeur de chaleur rotatif capte ensuite la chaleur de l'air extrait. Le réglage doit être fait de manière à ne pas provoquer de courant d'air. La ventilation par les fenêtres est possible grâce à des ouvrants de 35 cm de largeur – mais hauts – et dont l'ouverture est modulable avec précision. Ils permettent une aération de base adaptée aux besoins et surtout permanente, particulièrement économique, les nuits d'été.

Un chauffage du sol par eau chaude est prévu pour le bâtiment principal et pour le gymnase. Des soupapes de zone permettent le réglage centralisé de la chaleur apportée dans chaque zone. Dans le gymnase se trouve un système de chauffage adapté aux sols élastiques. 20 m<sup>2</sup> de capteurs solaires sont placés sur la toiture pour l'eau chaude des sanitaires. Le reste des besoins est assuré par le réseau de chauffage urbain. Un système de recueil des données énergétiques a été mis en place pour en optimiser le fonctionnement.

Le concept des couleurs et des matériaux est volontairement marqué par l'économie et la mise en œuvre de revêtements clairs et robustes: terrazzo pour les couloirs, parquet dans les salles de classe, fenêtres et portes en bois. L'orientation à l'est et la proximité des espaces libres – qui jouxtent un terrain laissé à l'état naturel avec son ruisseau – conviennent particulièrement bien à une école.

8 Coupe transversale sur l'aile des salles de classe avec le schéma de fonctionnement de la ventilation, sans échelle

9 Vue sur une salle de classe; à noter l'éclairage égal des deux côtés

10 Vue sur le hall

Pages suivantes

11 Coupe avec indication des éléments de construction essentiels, sans échelle

12 Vue sur la façade en longueur avec les pare-soleil

13 Gymnase et aile des salles de classe la nuit

La coupe transversale ci-dessus permet une vision globale des éléments décrits et du fonctionnement de l'installation de ventilation. Les conduits enterrés sous le bâtiment pour le capteur géothermique mesurent 220 m de long. Il s'agit de tubes de polyéthylène qui peuvent donc être collés de façon étanche à l'eau sous pression et sont faciles à nettoyer. La ventilation du gymnase repose sur le même principe. Les besoins en énergie pour le chauffage ont été certes nettement réduits, mais il en subsiste néanmoins encore qui peuvent, le cas échéant, être couverts par deux systèmes thermiques.



9



10

**Composition toiture:**  
substrat 10-22 cm  
panneaux thermiques 22 cm  
textile non tissé  
isolation thermique 15 cm  
pare-humidité 3 couches 1 cm  
isolation thermique 10 cm  
pare-vapeur

forme de pente en béton 3-15 cm  
dalle de béton armé 33 cm  
vide

plafond suspendu 2 cm

**Composition plancher:**

rez-de-chaussée:

carrelage et colle 1,5 cm

plancher double 30,5 cm

chape et freine-vapeur 5 cm

matériau résilient 3 cm

isolation thermique 5 cm

feuille polyéthylène

dalle de béton armé 25 cm

**Composition façade:**

élément vitré 1 cm

ventilation arrière 2,5 cm

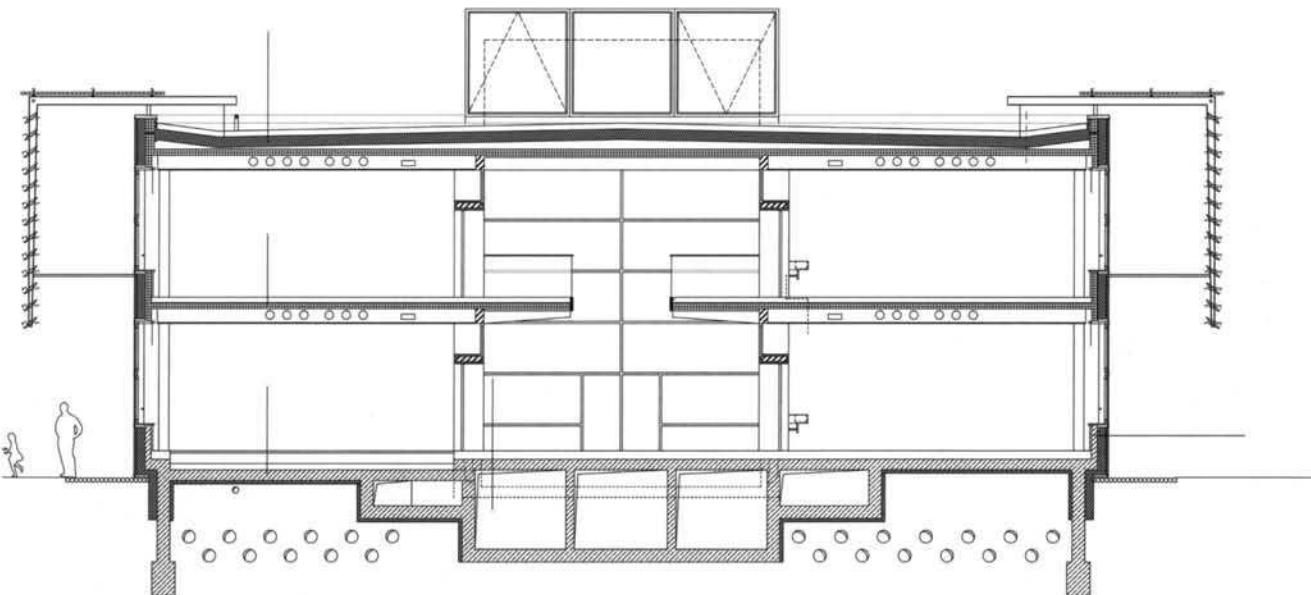
panneaux légers en laine

de bois 2,5 cm

laine minérale 20 cm

allège en béton armé 14/17 cm

enduit à sec 4 cm



11

12





## Bâtiment scolaire au standard passif: école Montessori à Aufkirchen

Architectes:  
Walbrunn Grotz Vallentin Loibl, Bockhorn



1

### Informations sur le projet:

Livraison: 2004  
SHON: 3 614 m<sup>2</sup>  
SHOB: 40 80 m<sup>2</sup>  
Volume du bâtiment:  
18 976 m<sup>3</sup>

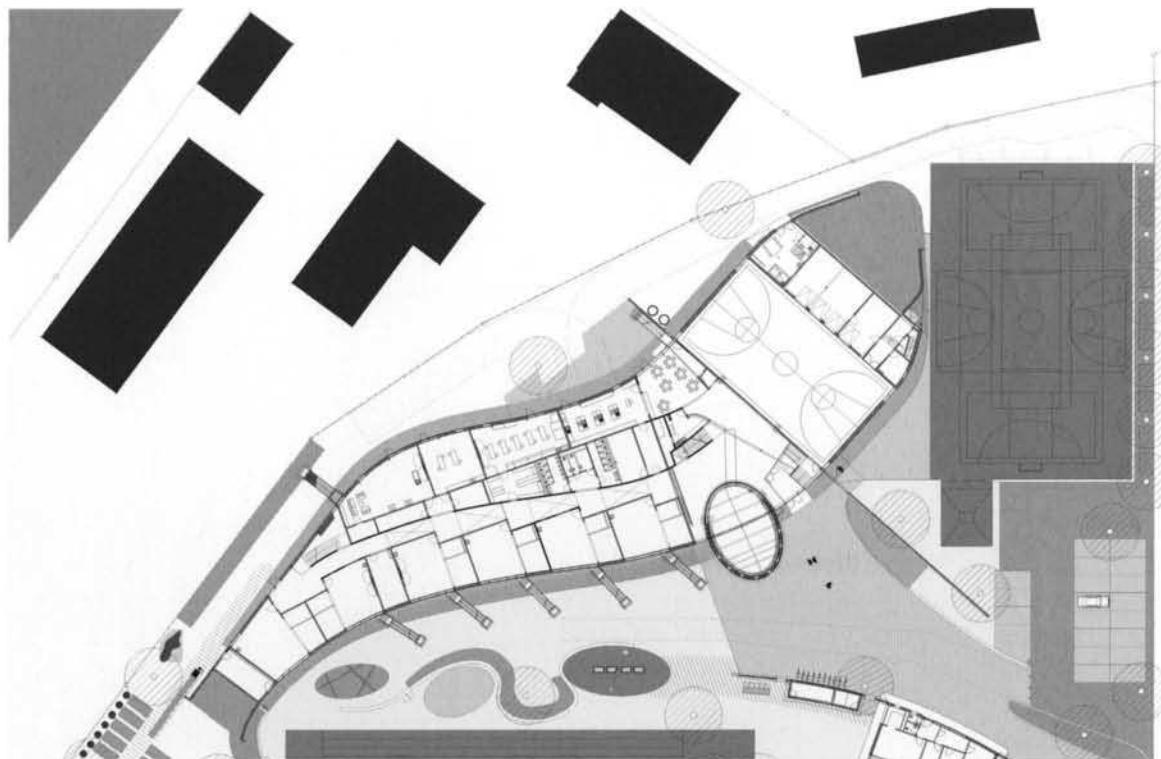
Besoins d'énergie pour le chauffage: 13,5 kWh/m<sup>2</sup>/an  
Coefficient U toiture:  
0,10 W/m<sup>2</sup>.K  
Coefficient U mur extérieur: 0,18 W/m<sup>2</sup>.K  
Coefficient U plancher rez-de-chaussée contre la terre: 0,14 W/m<sup>2</sup>.K  
Coefficient U vitrage:  
0,70 W/m<sup>2</sup>.K

Réaliser un lieu de vie pour les enfants: telle est la tâche à laquelle les architectes se sont attelés à l'occasion de la conception de la nouvelle école primaire et collège Montessori de Aufkirchen. Le projet consiste en un bâtiment au plan organique à deux niveaux avec une toiture végétalisée. Grâce à la possibilité de multiples modes d'utilisation, l'omniprésence de la lumière et le caractère chaleureux du bâtiment favorisent l'épanouissement des enfants pendant les heures de classe et leur temps libre. En dépit d'une recherche volumétrique ambitieuse, le bâtiment a dû se plier aux règles de faisabilité économique et suivre les prescriptions en matière de financement public. À cela s'est ajoutée la volonté de construire sur un mode économe en énergie, à savoir au standard passif.

La toiture très présente s'intègre bien dans le terrain; les différents volumes intérieurs se complètent les uns les autres de manière très subtile. La compacité signifie des surfaces extérieures peu importantes par rapport aux surfaces utiles, ce qui est positif sur le plan écono-

mique et réduit la consommation d'énergie. Le prolongement de la toiture jusqu'au sol réduit à deux le nombre de façades extérieures. Celle du sud s'ouvre par le hall d'entrée et la cour de récréation, celle du nord-ouest sur les environs. L'entrée est marquée par une rotonde demi-hors œuvre et par un mur de séparation le long du chemin d'accès. Derrière l'entrée s'élève sur toute la hauteur la salle de spectacles. La cantine attenante fait aussi office de cafétéria pour les élèves.

Grâce à des cloisons amovibles, cette salle peut encore être agrandie et englober le gymnase et la salle polyvalente ronde. Lors de manifestations importantes, le gymnase en demi-sous-sol peut se voir modifié par la mise en place d'une tribune entre la salle de spectacles et la salle polyvalente. La partie comprenant les classes commence juste après la salle. Elle comprend, au rez-de-chaussée, les six classes de primaire avec les salles de travaux pratiques et, à l'étage, les quatre classes de maternelle avec leurs salles de travaux pratiques ainsi que les bureaux. Les nombreuses ouvertures pratiquées dans la



2

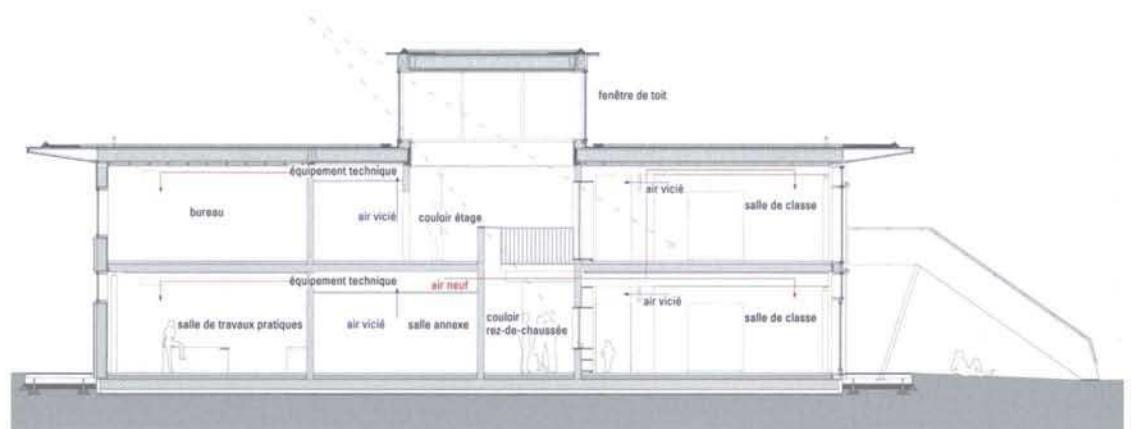
3



1 Façade sud

2 Plan rez-de-chaussée avec le voisinage, sans échelle

3 Détail façade sud avec les escaliers extérieurs menant aux salles de classe de l'étage



4

5



4 Coupe, situation en journée : l'espace de distribution est, sur toute sa longueur, éclairé de manière naturelle par les fenêtres de toit centrales.

5 Vue sur le chantier au moment de la phase de gros œuvre

6 Toiture végétalisée avec les fenêtres de toit

7 Détail d'un shed

8 Montage des éléments de toiture

9 Salle de classe au moment du gros œuvre, la pente du toit est perceptible à l'intérieur.



6



7

toiture et le faux plafond créent un espace fluide aux multiples angles de vue.

La liaison entre intérieur et extérieur reprend – avec de nombreux autres détails – les principes de la pédagogie Montessori dont les architectes se sont fortement imprégnés en étant, pendant une courte période, des observateurs attentifs de l'école et du collège.

L'école Montessori d'Aufkirchen a reçu le label maison passive. L'enveloppe compacte est très bien isolée. Les fenêtres sont celles d'une maison passive. La ventilation contrôlée avec récupération de chaleur apporte au bâtiment scolaire et au gymnase l'air neuf nécessaire. La définition de zones et la compacité sont des éléments essentiels du standard en question. De grands bâtiments ne peuvent être énergétiquement efficaces et économiques à construire que s'ils sont très compacts. Le terrain étant à proximité immédiate d'une très petite commune, il n'était pas pensable de prévoir plus de deux niveaux. Dès le début, le projet est parti sur la base d'un plan avec deux rangées de classes reliées par

un couloir central; cela supposait un bâtiment profond et donc un médiocre éclairage, inconvenant qui a néanmoins pu être compensé par un grand nombre de fenêtres de toit. Celles-ci et les volumes qu'elles dominent créent un grand espace baigné de lumière. Une définition logique des zones joue par ailleurs un rôle essentiel. Le bâtiment est orienté nord-sud pour permettre aux salles principales de bénéficier du maximum d'apports solaires; les salles annexes sont regroupées au nord. Avec une profondeur comprise entre 20 et 28 mètres, la répartition des espaces est la suivante: la partie sud comprend les salles de classe, la salle polyvalente et la salle de spectacles. La partie centrale sert de distribution et abrite des locaux annexes et de rangement. Les salles de travaux pratiques et les bureaux occupent la partie nord. Toutes les classes ont un accès direct au jardin de l'école, les salles de l'étage ayant aussi leur propre escalier de secours menant aux espaces verts. Les escaliers extérieurs sont imposés par les normes de sécurité incendie mais remplissent aussi d'autres fonctions. Il en est de même pour les salles de dessin, de musique et de garderie à midi.

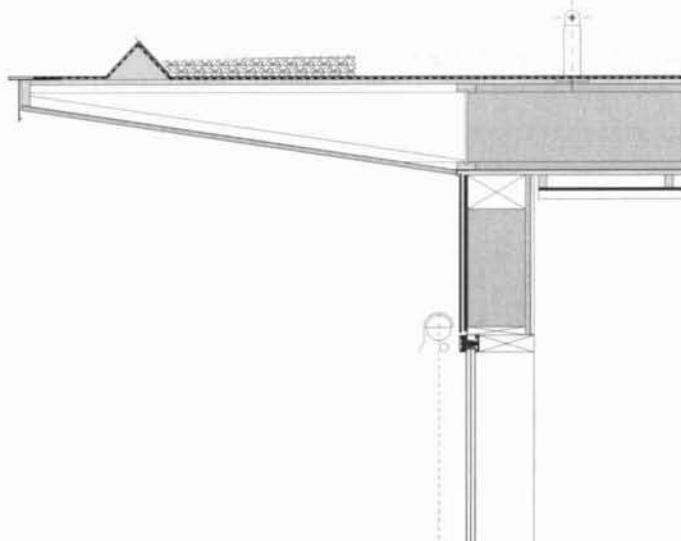


8



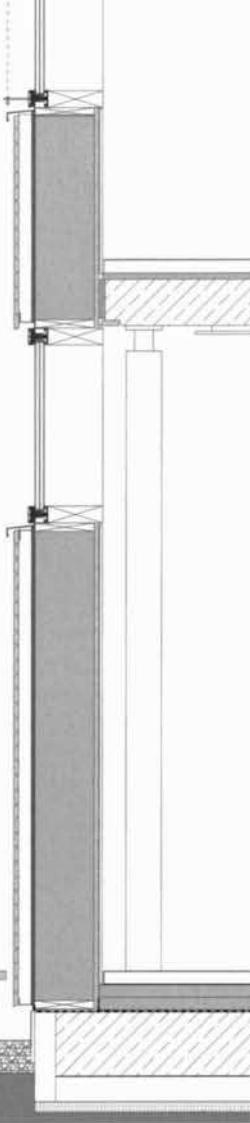
9

Composition de la toiture de haut en bas:  
terre végétale 100 mm  
couche de protection étanchéité  
non-tissé de séparation avec détection de fuites  
panneau OSB – couche étanche à l'air 25 mm  
poutrelles composites en bois avec une isolation en cellulose 406 mm  
freine-vapeur s'adaptant au taux d'humidité  
panneau OSB  
lattage de ventilation  
lattage bois sur un panneau porteur

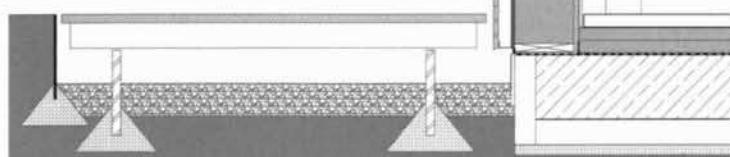


Façade de l'extérieur vers l'intérieur:  
bardage en douglas 24 mm,  
lattage de ventilation avec non-tissé de façade 40 mm,  
panneau fibres de bois DWD 16 mm,  
panneau contreplaqué BFU avec isolation en cellulose 280 mm,  
panneau OSB – couche étanche à l'air 22 mm,  
panneau gypse-fibre 15 mm

Plancher étage de haut en bas:  
parquet collé 13 mm  
chape ciment avec ragréage 60 mm  
couche de séparation isolant 30 mm  
dalle béton armé 200 mm  
plafond acoustique:  
panneaux Placoplâtre 25 + 12,5 mm



Plancher rez-de-chaussée de haut en bas:  
parquet collé 13 mm  
chape ciment avec ragréage 60 mm  
couche de séparation isolant 120 mm  
barrière anti-capillarité dalle béton armé 300 mm film  
isolation périphérique 120 mm  
béton de propreté 50 mm sur graviers de protection contre le gel



10

- 10 Coupe détaillée de la façade, sans échelle  
11 Espace de distribution à l'étage, bien éclairé et conçu pour faciliter les communications

Pour pouvoir augmenter la compacité, la grande paroi du gymnase jouxte la salle de spectacles. La liaison entre les deux (une grande ouverture composée de cloisons mobiles) permet une multitude d'utilisations: rassemblements importants, fêtes d'école, spectacles... Tous ces éléments fondamentaux sont au service de la pédagogie Montessori.

Le parti architectural a très vite penché en faveur d'une construction massive. Les normes acoustiques et celles concernant la sécurité incendie sont satisfaites de manière plus élégante par ce type de construction. L'avantage que représente la masse d'inertie est aussi très profitable au concept énergétique et au confort intérieur. Tandis que les murs du sous-sol ont été réalisés en béton hydrofuge, tous les autres murs intérieurs et planchers sont en béton apparent. L'enveloppe a été, dès le début, prévue en bois, ce qui améliore la performance thermique et la rend plus économique. La préfabrication a, d'autre part, permis un gain de temps. Le bois n'a pas été uniquement utilisé en façade mais aussi à l'intérieur. L'association entre le béton armé et le bois crée ainsi une ambiance chaleureuse.

L'étanchéité à l'air est une condition imposée par le standard passif. En construction bois, elle permet en outre un contrôle qualité pour éviter les désordres liés à la convection. Lors du test Blower-Door (le second œuvre pas encore entamé, les fenêtres étaient toutefois posées), on a relevé les valeurs suivantes:  $n50 = 0,09 \text{ l/h}$ , par rapport au volume intérieur réel. Le système de ventilation n'a pas été prévu comme installation de climatisation, mais comme « équipement de secours » : il ne permet pas le réglage du taux d'hygrométrie ni de la température. Dans les cas exceptionnels où l'air est trop vicié, une ventilation par les fenêtres est possible. Le cœur de la centrale de ventilation est un échangeur de chaleur rotatif. Le taux de récupération s'élève, pour  $5840 \text{ m}^3/\text{h}$ , à 86% sur l'air neuf et 74% sur l'air extrait. Un cogénérateur équipé d'une chaudière à condensation à gaz assure le chauffage. Dans une maison passive, ce dernier fonctionne de manière continue et à température constante.



# Projet de construction participatif: collège à Gelsenkirchen

Architectes:  
plus+ bauplanung, Neckartenzlingen



1

## Informations sur le projet:

Livraison: 2004

SHON: 16 650 m<sup>2</sup>

SHOB: 19 110 m<sup>2</sup>

Volume du bâtiment:  
77 600 m<sup>3</sup>

Coefficient U toiture:

0,23 W/m<sup>2</sup>.K

Coefficient U mur

extérieur: 0,33 W/m<sup>2</sup>.K

Coefficient U plancher

rez-de-chaussée sur vide

sanitaire: 0,35 W/m<sup>2</sup>.K

Coefficient U vitrage:

0,23 W/m<sup>2</sup>.K

«Les enfants construisent leur école» est le titre d'une monographie sur le complexe scolaire de Gelsenkirchen. Il rend compte du travail de l'architecte Peter Hübner. Son engagement pour la participation des usagers de son bâtiment tout au long des phases de conception, de l'établissement des plans d'exécution et de la réalisation est significatif et contribue fortement au caractère durable de son architecture. La forte identification des élèves à leur école explique l'absence de tout vandalisme. L'établissement scolaire évangélique de Gelsenkirchen-Bismarck se trouve dans une zone touchée de plein fouet par la crise de l'industrie du charbon et de l'acier où les étrangers représentent 30% de la population et qui compte une forte proportion de chômeurs. Cette école multiculturelle et écologique devrait devenir un nouveau pôle d'attraction. C'est ainsi que s'est développé le parti architectural autour de l'idée de petite ville avec rue principale, place du marché, bibliothèque, hôtel de ville (bureaux), théâtre (salle de spectacles), auberge (cantine), pharmacie (labo de chimie), atelier (salle d'art) et six rangées de maisons abritant les salles de classe desservies par des voies secondaires. La participation des élèves aux phases de programmation, de conception et de réalisation était prévue dès l'origine. Comme si souvent avec Peter Hübner, une belle histoire (explicative) a

constitué la base des futurs développements. Le jury s'est laissé convaincre par ce programme, aussi sensé que sensible, et qui reprenait le concept pédagogique d'un apprentissage global et social.

Le responsable de l'école a clairement exprimé son souhait de créer une école respectueuse de l'environnement: il s'agissait de profiter d'apports solaires passifs en suivant un principe énergétique global. L'ensemble du bâtiment manifeste une réelle préoccupation pour la qualité de la lumière naturelle. «Les variations saisonnières, le recours raisonné aux plantes en tant qu'éléments apportant de l'ombre ou permettant d'améliorer le confort dans les intérieurs devaient justifier une esthétique et une écriture en harmonie avec le soleil.» La réflexion sur la collecte des eaux de pluie n'a pas non plus été négligée. L'aménagement des espaces libres doit permettre l'insertion naturelle de l'école dans un nouveau quartier d'habitation. «Le jardin de l'école, l'ensemble des espaces verts doivent être un lieu de détente, du calme, d'équilibre et de recueillement tout comme des terrains d'aventures naturels ou des salles de classes en plein air.» Le résultat satisfait les exigences avec une authenticité surprenante. Le rôle de centre culturel de quartier que joue l'école semble dès lors aller de soi.



2

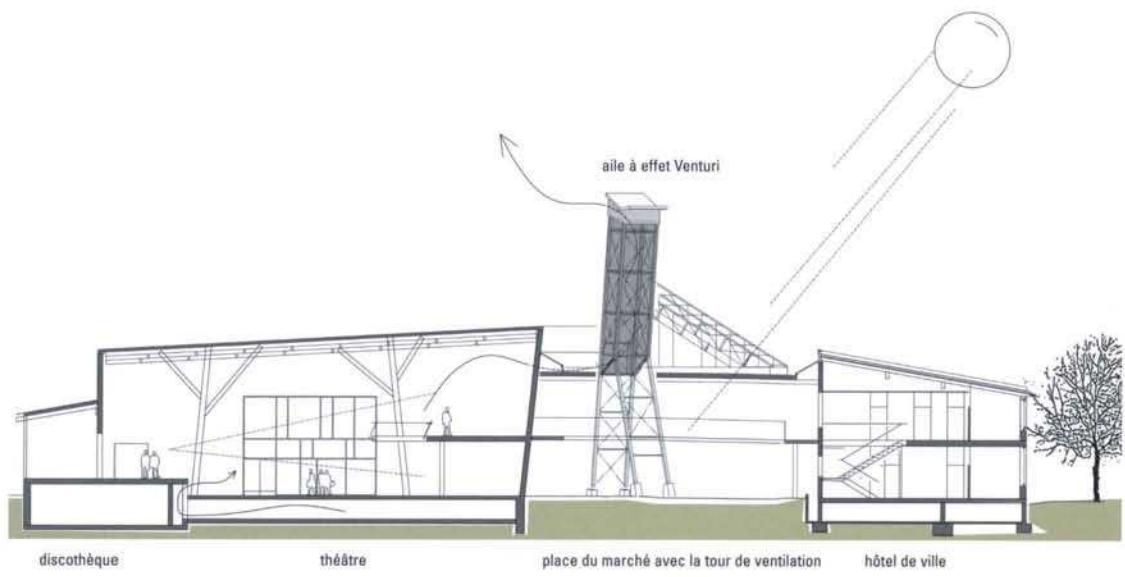


4



3

- 1 Vue aérienne
- 2 Plan de masse avec l'environnement urbain, sans échelle
- 3 Plan de situation : l'établissement scolaire telle une petite ville avec toutes les zones fonctionnelles indispensables, sans échelle
- 4 Vue sur la place du marché couvert, pivot et nœud du complexe



5

6



5 Coupe de la place du marché avec la tour d'extraction d'air, la salle de spectacles (théâtre) fermée et l'administration (hôtel de ville), sans échelle

6 Vue de l'est avec l'hôtel de ville, la chapelle et la bibliothèque

La « place du marché couvert », où débouche la rue principale et sur laquelle donnent les locaux centraux de l'établissement scolaire comme la salle de spectacles, la cafétéria, la bibliothèque et les bureaux, n'est pas qu'une simple aire de distribution, elle est un véritable centre de communication. La remarquable tour d'extraction d'air avec des ailes à effet Venturi – située au milieu de l'atrium polygonal – sert à évacuer de façon naturelle l'air des locaux et des autres espaces fonctionnels. Dans le théâtre voisin, un conduit enterré et une cheminée d'extraction sont les éléments principaux de ventilation naturelle. Si la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur est suffisante, il est possible d'assurer le renouvellement d'air pour un maximum de 80 personnes sans aucun autre dispositif. Le courant d'air nécessaire est régulé

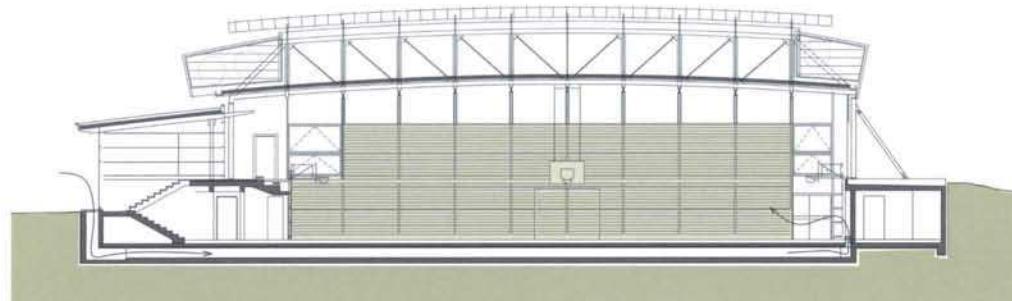
à l'aide de clapets. Le flux d'air circule selon le principe de la ventilation transversale qui permet une sensation de confort avec de faibles vitesses de circulation de l'air.

L'air pénètre sans extracteur par le garde-corps jusqu'à la scène de la salle de spectacles. Dans le cas de faibles températures extérieures, le conduit enterré permet de préchauffer l'air et de réduire la consommation d'énergie de chauffage. Lorsque les températures extérieures sont élevées, l'air neuf est au contraire rafraîchi. En cas d'occupation plus forte ou d'un renouvellement d'air naturel trop faible, la ventilation est assurée par un appareil compact dont le débit est réglable en fonction des besoins. L'air est réparti dans la salle de spectacles par des buses de soufflage à longue portée.

7



7 Vue sur la bibliothèque avec le plan d'eau au premier plan, le système de recueil des eaux de pluie étant intégré à l'aménagement des espaces verts. L'aile attenante avec les salles spécialisées, l'« atelier » (salle d'arts plastiques) et la « pharmacie » (labo de chimie) est visible à droite au premier plan avec une aile de salles de classe.



8



9

La salle de sport, bien sûr mise à disposition pour d'autres groupes venant du quartier, ne séduit pas seulement par sa ventilation originale mais aussi par son concept d'éclairage naturel.

La halle est chauffée par des panneaux rayonnants fixés au plafond qui peuvent réagir très vite aux conditions d'utilisation de la salle. L'air neuf est préchauffé dans des conduits enterrés et, avant d'entrer dans la salle, chauffé de manière traditionnelle à la température désirée par des systèmes thermiques. En été, l'air est rafraîchi de 5 K au plus, par ces mêmes conduits. L'ouverture des fenêtres évite les surchauffes estivales.

Diverses simulations d'éclairage naturel ont permis de se limiter à des investissements raisonnables en matière de vitrage pour un confort visuel satisfaisant; en d'autres termes,

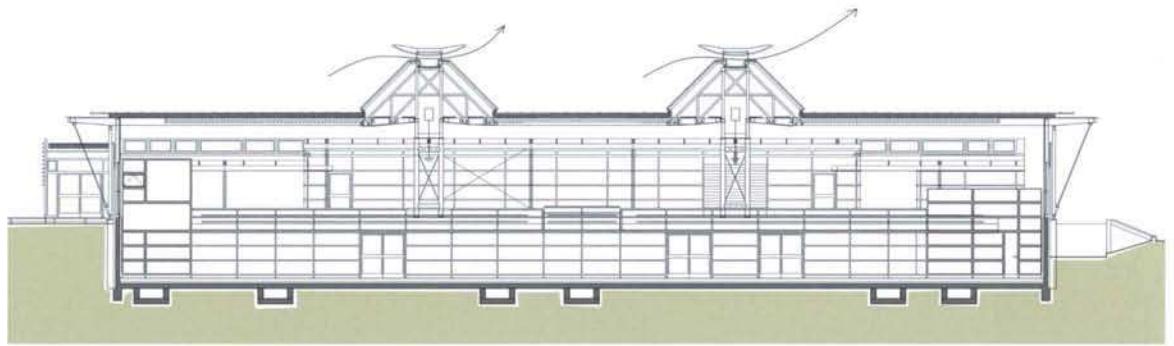
pour que le quotient de la lumière du jour, c'est-à-dire le pourcentage de l'intensité lumineuse dans la pièce par rapport à l'intensité lumineuse à l'extérieur, soit bon. Le résultat est un quotient de 5,9% avec une très bonne régularité ( $g$ ) de 0,96 à un mètre au-dessus du sol. Le concept énergétique suit les prémisses suivantes: la minimisation des combustibles fossiles utilisés, des investissements en équipement technique, en charge frigorifique, des déperditions par transmission et ventilation allant de pair avec une optimisation du confort thermique et visuel ainsi qu'une réduction de l'énergie dépensée et des matériaux mis en œuvre. On est parvenu à ce résultat par une prise en compte intelligente des sources naturelles de chaleur (soleil), des sources de froid (sol et air nocturne) et par une activation du noyau en béton, cette masse d'inertie jouant le rôle de tampon thermique.

8 Coupe transversale du gymnase avec indication du système de ventilation, sans échelle

9 Gymnase vu de l'extérieur avec, au-dessus des vitrages zénithaux en bande, les ailes à effet Venturi pour optimiser la ventilation naturelle

10 Coupe longitudinale, sans échelle

11 Vue sur la halle vers les locaux annexes et les tribunes



10



11

## Réponse à des conditions extrêmes: établissement scolaire à Ladakh

Architectes:  
Arup Associates, Londres



1

### Informations sur le projet:

Livraison 1<sup>re</sup> tranche: 2001  
SHON: 607 m<sup>2</sup>  
SHOB: 725 m<sup>2</sup>  
Volume du bâtiment:  
2 306 m<sup>3</sup>

Internat sans les toilettes et les lavabos  
SHON: 340 m<sup>2</sup>  
SHOB: 453 m<sup>2</sup>  
Volume du bâtiment:  
1 540 m<sup>3</sup>

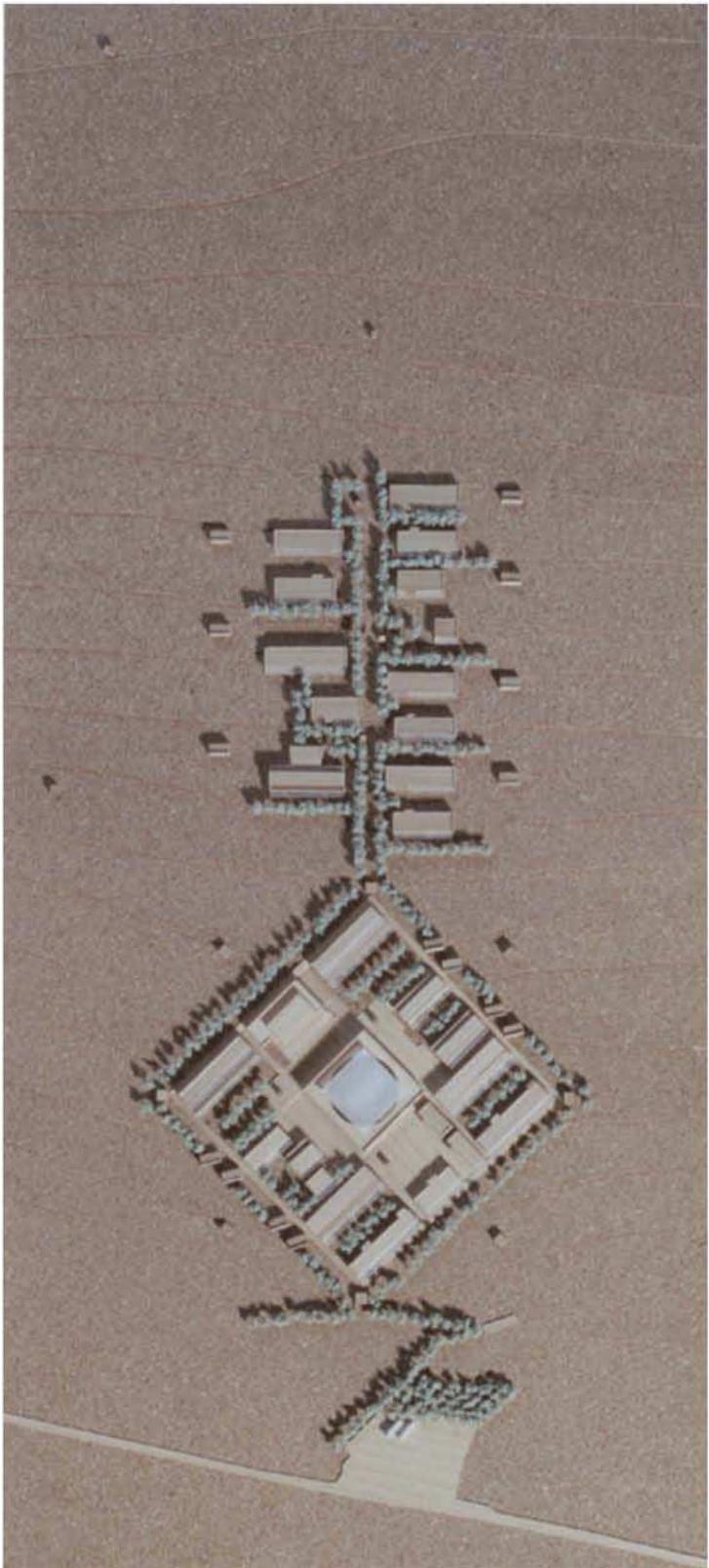
Les données indiquées ici pour d'autres projets pouvant entraîner des confusions – elles ne sont pas comparables avec les standards passifs européens –, nous renvoyons le lecteur au graphique de la page 192 qui montre bien l'efficacité des techniques mises en œuvre.

Le Ladakh se trouve dans l'Himalaya indien, à la frontière ouest du Tibet. En hiver, dans les vallées situées au-dessus de 3500 mètres, les températures atteignent à certains endroits les -30°C; durant le court été, le soleil apporte en revanche la vie dans les vallées fertiles. Le Drukpa Trust, un organisme humanitaire basé en Grande-Bretagne, est à l'initiative de cette école pour 750 filles et garçons.

Une équipe d'architectes et d'ingénieurs du bureau d'études Arup Associates et Arup ont commencé à mettre au point un plan directeur en 1997. L'idée était d'explorer une voie nouvelle avec une technologie et un mode de construction adaptés à la situation locale. On a, d'une part, eu recours à tous les programmes de simulation disponibles liés à la technique du bâtiment et, d'autre part, exploité les méthodes de construction traditionnelles selon la devise «aide-toi toi-même». C'est ainsi que la mise en œuvre d'un mur Trombe (ou mur capteur) a au préalable été examinée avec le plus grand soin de même que l'emploi de la laine comme matériau d'isolation ou encore le vitrage isolant, encore inhabituel dans ces contrées. On a aussi mené des études sur l'éclairage.

Les connaissances approfondies en matière de construction antismique ont de la même façon bien servi le projet. Les ressources locales ont été examinées pour le choix des matériaux. Le recours aux artisans locaux pour la construction et aux enseignants recrutés sur place pour assurer le fonctionnement de l'école semblait évident.

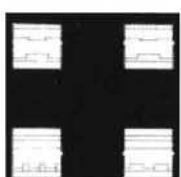
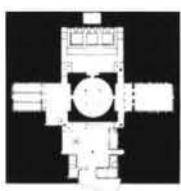
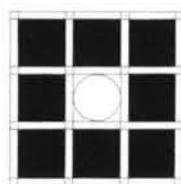
Comme les sites aux conditions climatiques extrêmes sont particulièrement sensibles, on a mis en place, dans la mesure du possible, des systèmes autorégulés pour l'approvisionnement en eau, l'apport en énergie et le traitement des déchets. Une pompe solaire fait circuler l'eau pour la végétation extensive. Tous les bâtiments sont disposés de manière à exploiter au mieux l'énergie solaire à 3700 m d'altitude. Le complexe scolaire est organisé sur une trame de 3 fois 3 parcelles. Le plan s'inspire symboliquement d'un mandala tandis que l'élévation correspond à celle d'un village ou d'un cloître de la région. Au nord se trouvent les bâtiments destinés aux écoliers. Les salles de classes sont orientées au sud-est, 30° par rapport au sud, afin de tirer profit de l'ensoleillement du matin.



2



3



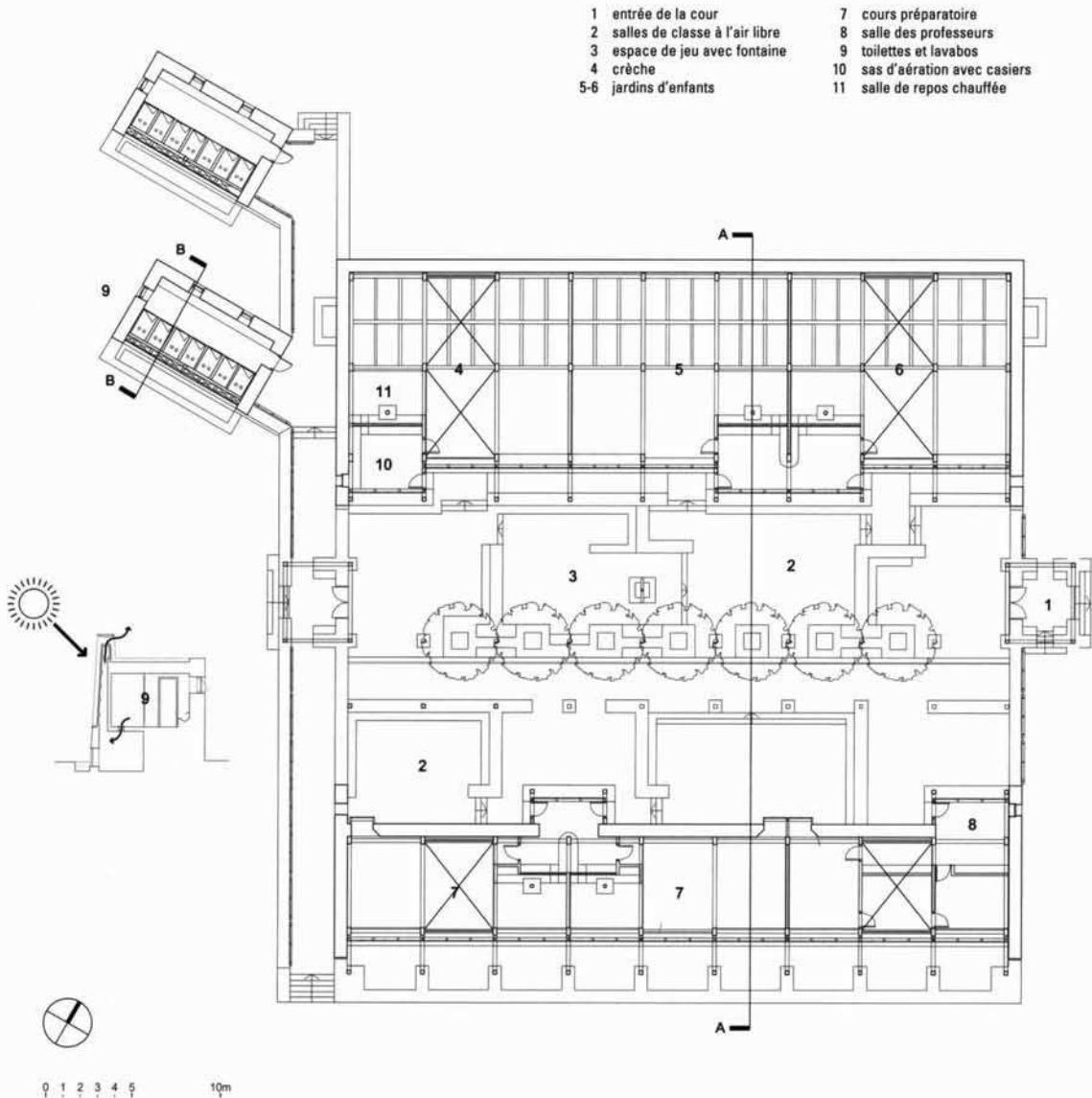
4

1 Vue sur la première partie achevée avec l'école maternelle et primaire

2 Plan de masse, sans échelle

3 Panneaux photovoltaïques utilisés pour l'approvisionnement en eau.

4 Évolution du plan basé sur un mandala



5 Plan et coupe de la crèche, du jardin d'enfants et de l'école maternelle en haut, avec la cour commune et la possibilité de faire classe en plein air; en bas, l'école primaire avec les salles de classe  
Les toilettes et les lavabos sont à part.  
Plan sans échelle





6



7

Les bâtiments sont en règle générale orientés de sorte que l'énergie solaire soit captée et stockée au mieux durant la journée pour la diffuser durant la nuit. Les locaux contenant les toilettes et les lavabos, à l'écart, ont une ventilation aidée par la thermique solaire. Les pièces de l'internat sont réchauffées par un mur Trombe. Ce mur – nommé d'après son inventeur le Français Félix Trombe – est constitué d'une maçonnerie massive recouverte d'une surface noire absorbant la chaleur et d'une façade en verre placée à 100-150 mm devant. La chaleur absorbée est stockée dans la maçonnerie et diffusée peu à peu vers l'intérieur. D'étroites ouvertures pratiquées en bas et en haut dans le vide entre le mur et le verre et communiquant avec la pièce à chauffer assurent la convection et améliorent l'efficacité du système. Les pièces d'habitation bénéficient donc d'une sorte de façade double.

Les matériaux de construction proviennent des environs: pierre, argile pour l'enduit et

les briques, bois et herbe. Les pierres de granite proviennent du terrain même ou de l'environnement proche. Une fois triées et taillées, elles sont directement montées. On a limité le recours à la précieuse argile, elle demeure cependant indispensable pour l'étanchéité de la toiture. Les murs extérieurs, en pierre, sont enduits à l'intérieur avec de l'argile. Les cloisons intérieures sont en adobe. Une structure indépendante en lourdes poutres de bois assure la sécurité en cas de tremblement de terre. Des toitures solides faites avec des poutres en bois supportent le toit traditionnel en argile isolé avec de la laine minérale.

Côté sud, la lumière naturelle pénètre dans les salles de classe par de grandes baies vitrées. Un grand soin a été apporté pour assurer la ventilation transversale naturelle, un ombrage passif et un éclairement non éblouissant. Seule une grande attention portée aux habitudes de construction et de vie locales permet de réaliser des projets durables de ce type dans le cadre de l'aide au développement.

**6** Bâtiment des toilettes et des lavabos avec extraction d'air assistée: le rayonnement solaire est absorbé grâce à une surface en tôle d'acier galvanisé peinte d'une couleur foncée; l'effet thermique ainsi créé assure la ventilation de la fosse septique.

**7** Maquette de travail pour montrer et expliquer les différents détails

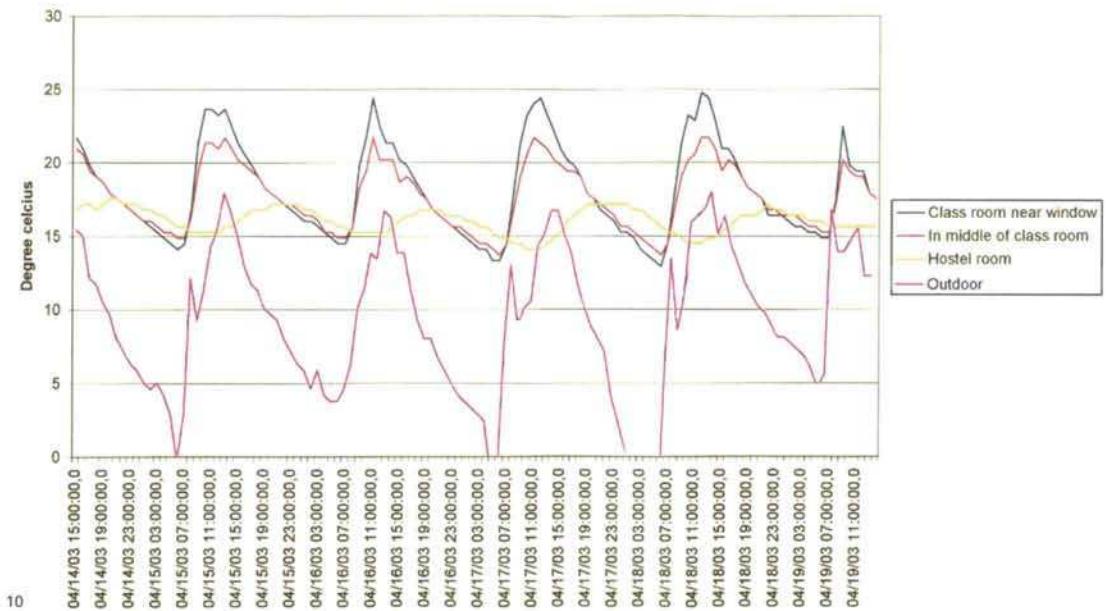


8



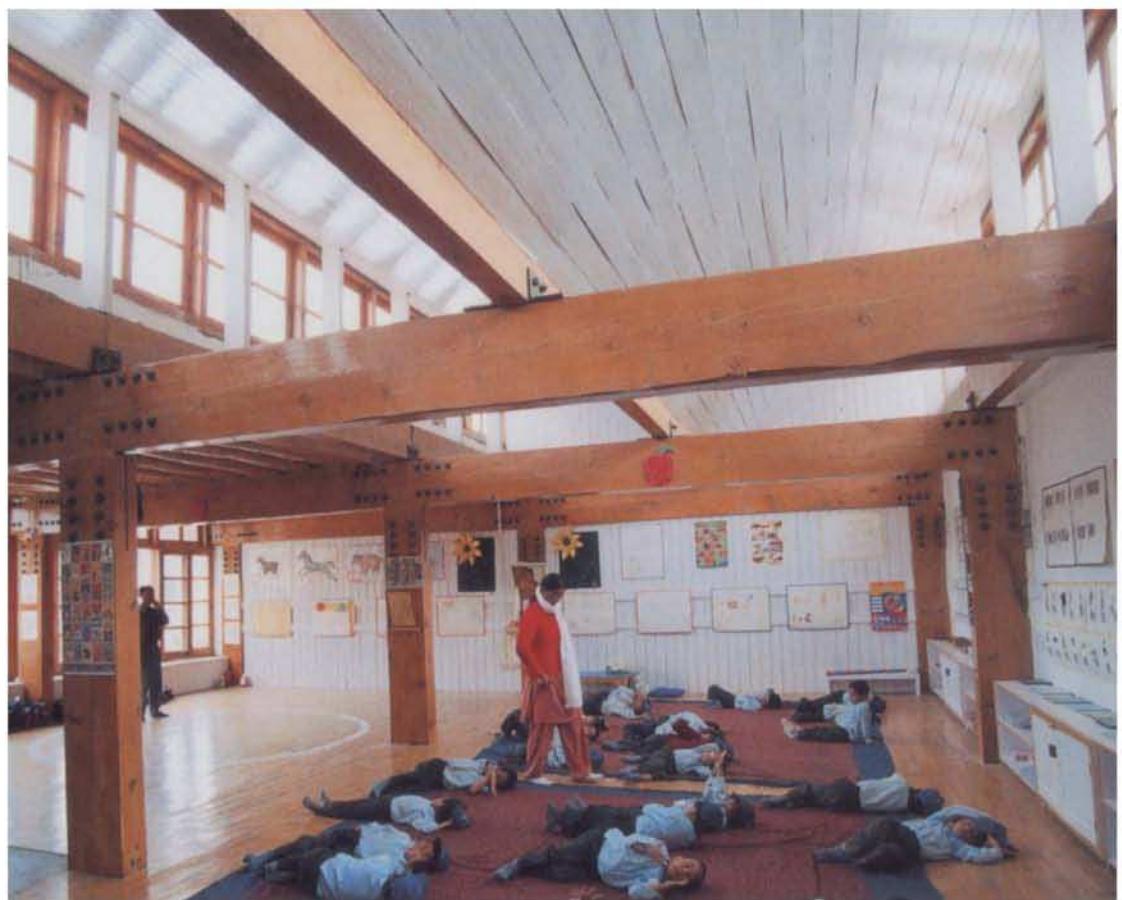
9

Nr. 5: Temperatures in class room and i hostel room 1

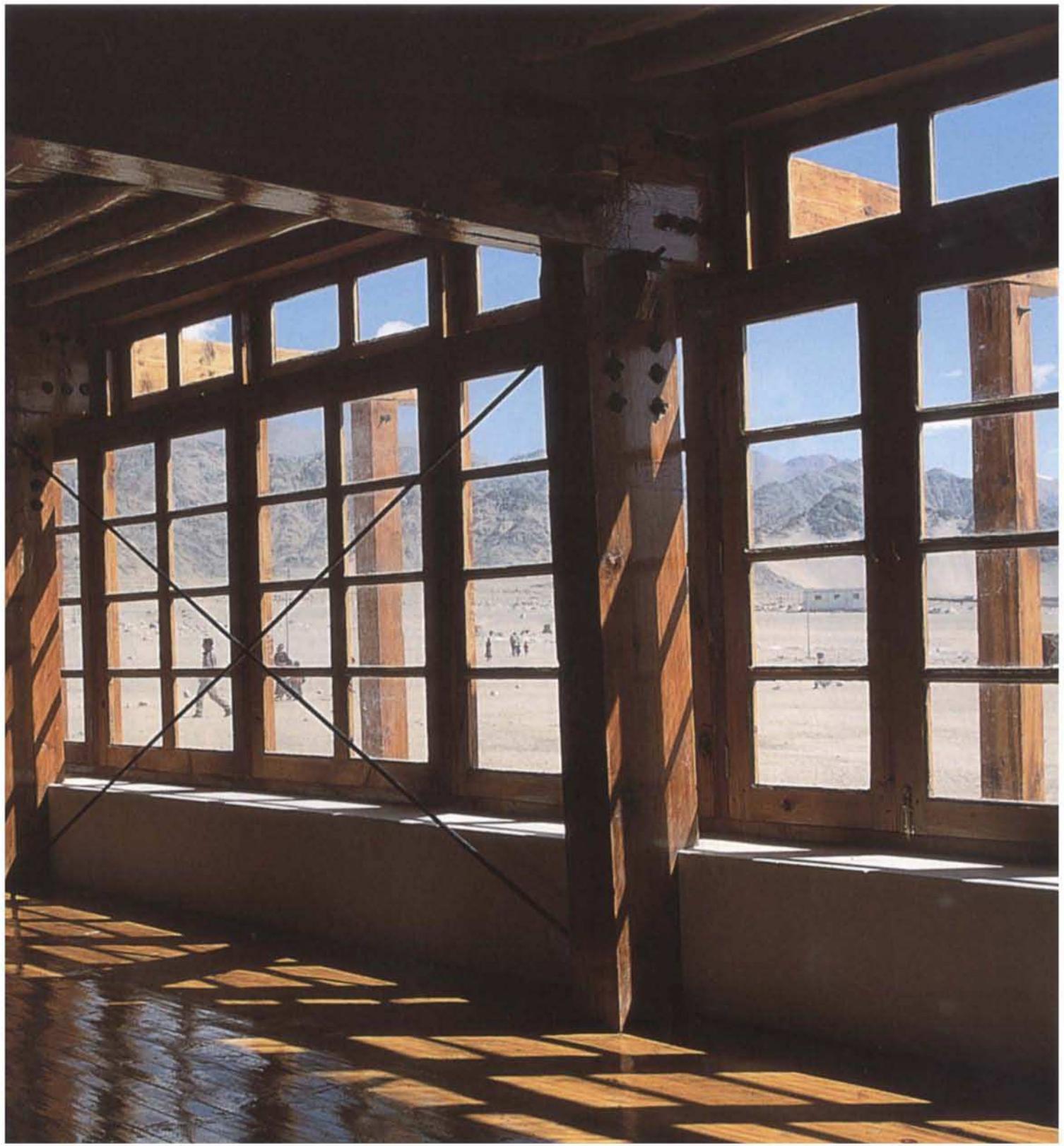


10

11



- 8 Enfants en habit traditionnel
- 9 Détail d'une fenêtre construite selon la tradition locale
- 10 L'évolution des températures mesurées entre le 14 et le 19 mars 2004 dans une salle de classe et dans l'internat démontre l'efficacité de la structure choisie.
- 11 Heure de la pause; la structure en bois délimite l'espace et assure la sécurité en cas de tremblement de terre.
- 12 Vue sur un espace collectif baigné de lumière



## Système d'éclairage naturel réglable: musée d'art à Riehen

Architectes:  
Renzo Piano Building Workshop, Paris/Gênes



1

### Informations sur le projet:

Livraison:

1<sup>re</sup> tranche: 1997

2<sup>re</sup> tranche: 2000

SHOB: 6 225 m<sup>2</sup>

Volume du bâtiment:

46 450 m<sup>3</sup>

La consommation d'énergie dépendant dans le cas présent de nombreux paramètres, aucun chiffre n'est donné. Le système est tout à fait adaptable aux différentes contraintes imposées par les objets exposés et la fréquentation.

Coefficient U toiture vitrée: 0,60 W/m<sup>2</sup>.K

Coefficient U mur extérieur rez-de-chaussée: 0,24 W/m<sup>2</sup>.K

Coefficient U mur extérieur sous-sol: 0,60 W/m<sup>2</sup>.K  
Coefficient U plancher sous-sol: 0,40 W/m<sup>2</sup>.K

La comparaison entre la fondation Beyeler de Riehen, le musée Kimbell à Fort Worth de Louis I. Kahn et la Collection Menil à Houston est tout à fait justifiée. Les trois édifices présentent une structure remarquable et une répartition homogène de la lumière naturelle à l'intérieur. Chacun de ces bâtiments remplit parfaitement sa fonction, s'intègre avec harmonie dans son environnement et constitue toutefois un prototype unique sur le plan formel.

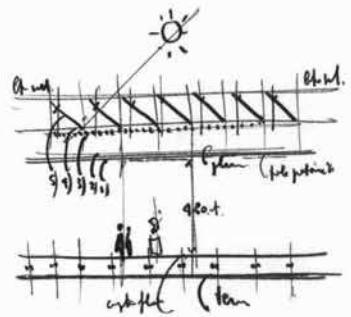
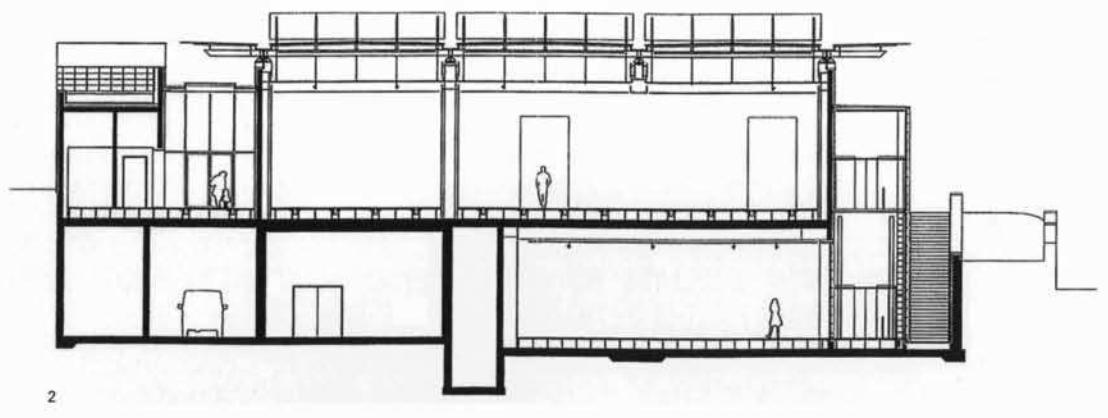
Une des particularités du musée Beyeler de Riehen réside dans sa qualité de «Green Building», un concept américain d'écoconstruction. Du point de vue de l'équipement technique, les attentes du maître d'ouvrage étaient des plus élevées. Au moment de la conception, l'efficacité énergétique n'a pas été privilégiée autant qu'on aurait pu s'y attendre; elle a découlé de la mise au point technique, de la réalisation très soignée et en partie aussi des réglages fins effectués après la mise en service. Le traitement très sensible de l'éclairage naturel se trouve au centre des différentes études. Comme souvent chez Renzo Piano, une esquisse préliminaire donne les premières indications sur l'idée du projet: la lumière solaire est réfléchie et filtrée par des panneaux vitrés inclinés. Un tampon thermique dont le coef-

ficient de transmission lumineuse est réglable sépare l'extérieur de l'espace d'exposition. Cette idée de départ doit ensuite déboucher sur des solutions concrètes.

Avec sa structure longitudinale, le bâtiment est placé de façon économique en bordure de terrain, le long de la rue, ce qui permet de protéger le parc du bruit. Les salles d'exposition sont organisées en trois axes parallèles. Comme les façades principales en longueur sont aveugles, la salle avec vue sur l'espace vert peut, si nécessaire, être prolongée jusqu'au pignon. Les sculptures exposées ici complètent l'exposition. Les liaisons entre intérieur et extérieur sont fluides. En soirée, les passants peuvent voir à l'intérieur, ce qui peut leur donner envie d'entrer. L'espace central de distribution permet de séparer ou de relier expositions permanentes et temporaires. Tout le long d'une galerie vitrée à l'est, il est possible de se reposer au calme après la visite. Une vaste perspective sur les environs prolonge le recueillement.

Le choix réduit de matériaux «neutres» met en valeur les objets exposés. La très forte fréquentation vient confirmer les choix quant à la forme et au rôle du bâtiment.

En coupe, les différentes fonctions sont très lisibles. Après la zone étroite des locaux annexes,

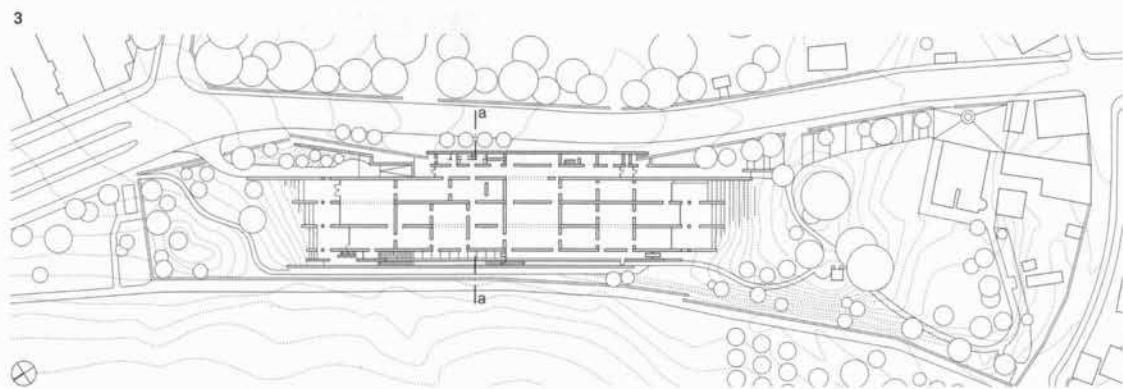


le hall ouvert aux deux extrémités mène aux salles d'exposition. L'extension de 12 mètres, réalisée dans la seconde tranche, paraît si évidente qu'elle est à peine perceptible. Les longs murs en béton ne sont revêtus de pierre naturelle qu'à l'extérieur, aux extrémités du bâtiment. À l'intérieur, ils sont constitués de poteaux en béton armé engagés dans des parois de plusieurs couches de Placoplâtre. Les installations techniques y sont facilement intégrées. Le système choisi permet une flexibilité maximale et la formation d'espaces plus vastes tant en profondeur qu'en largeur. La mise en place de circuits pour les expositions temporaires est aussi prévue, tout comme la libre circulation

entre les salles de l'exposition permanente. Grâce à la structure très lisible du bâtiment et aux ouvertures sur l'extérieur, on n'a aucun mal à se situer à l'intérieur.

Au sous-sol sont regroupés les locaux techniques, les réserves et un grand espace multifonctionnel pour les expositions permanentes, les conférences, etc.

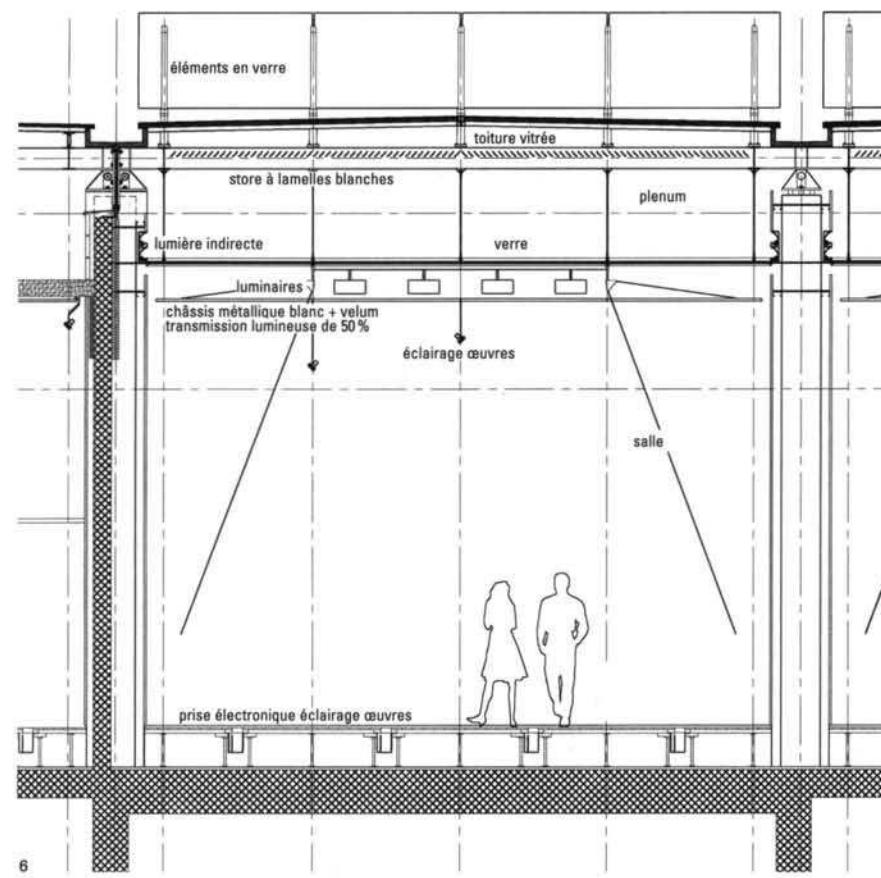
Enfin, la lumière naturelle directe exerce une influence favorable sur l'atmosphère des salles d'exposition. L'éclairage est en outre maintenu au niveau voulu grâce à un ingénieux dispositif.



- 1 Façade sud
- 2 Coupe transversale, sans échelle
- 3 Plan de masse, sans échelle
- 4 Esquisse de Renzo Piano de 1993 pour la conception du système d'éclairage naturel

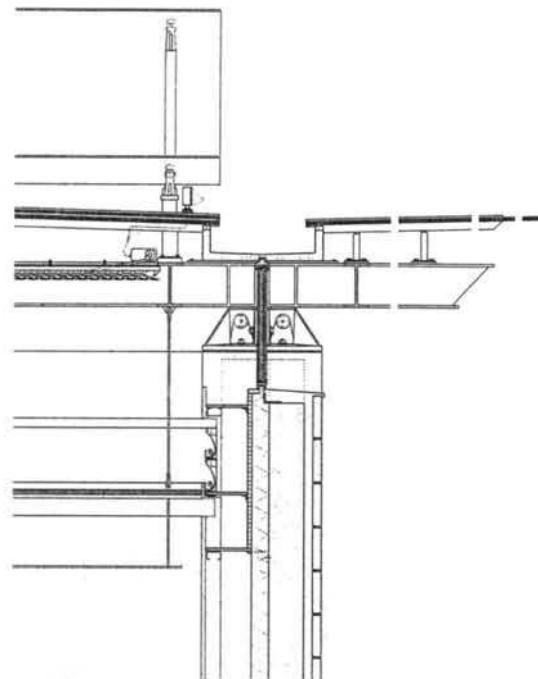


5



5 Protection solaire extérieure par des panneaux de verre émaillés et inclinés

6 Coupe d'une salle d'exposition avec les brise-soleil, le plenum technique et le faux plafond



7

8



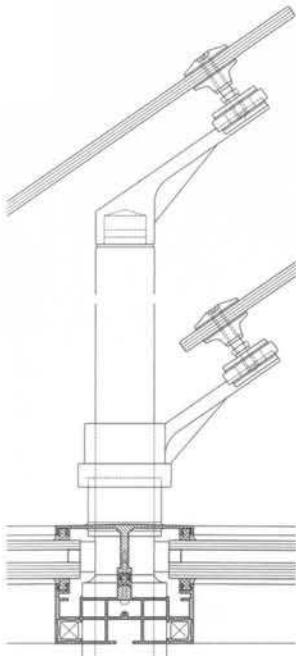
Une sorte de tapis volant de panneaux vitrés inclinés et montés en parallèle protège du rayonnement solaire direct. La sous-face des verres est émaillée en blanc. Ces pare-soleil très efficaces ont été optimisés au cours de la phase de conception à l'aide de simulations informatiques.

La lumière diffuse venant du nord peut atteindre sans obstacle la couche filtrante suivante au-dessus des salles d'exposition. La couverture réelle du bâtiment, sous les pare-soleil, est composée de trois toits en bâtière presque plats. L'eau de pluie est recueillie dans des chéneaux en tôle d'acier, le long des murs, sur toute la longueur du bâtiment. Juste sous la toiture vitrée, à la hauteur de la charpente, se trouve un système de filtrage fin de la lumière au moyen de lamelles orientables grâce à un mécanisme automatique.

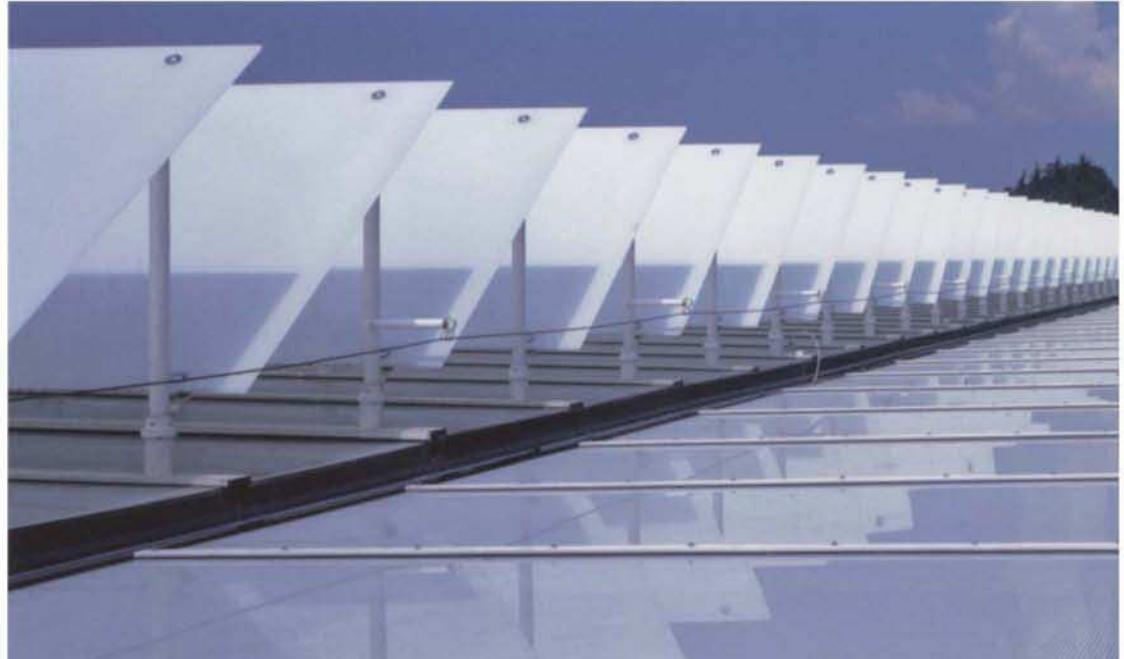
Des luxmètres sont à cet effet montés à intervalles réguliers sur les toitures vitrées. Le local technique est pourvu en partie basse d'un plancher praticable en verre feuilleté Securit. Le faux plafond visible depuis la salle est constitué par ce que l'on peut appeler un «velum»: un plafond en grille métallique tendu de tissu. Grâce à ces possibilités de réglage, la lumière

7 Détail de la toiture et de sa rive, sans échelle; éléments de haut en bas  
pare-soleil en verre de sécurité, sous-face émaillée blanche  
vitrage isolant Securit 12 mm,  
vide d'air 16 mm, verre céramique de sécurité 18 mm équipé d'une alarme,  
profilés aluminium à rupture de ponts thermiques  
grille de poutres;  
filtre de lumière avec lamelles orientables par mécanisme automatique  
plenum technique  
verre feuilleté de sécurité praticable pour la maintenance  
«velum»: grille métallique tendue de tissu

8 Façade longitudinale avec le débord de toiture.



9



10

naturelle peut être combinée avec la lumière artificielle de manière à rendre imperceptibles les variations d'intensité lumineuse habituelles au cours de la journée. Optimales pour les pièces exposés, ces conditions peuvent se révéler fatigantes pour le visiteur; pour pouvoir faire une pause, celui-ci a néanmoins la possibilité à tout instant de faire quelques pas dans le jardin d'hiver ou dans les salles situées aux extrémités donnant sur le parc.

Les conditions de confort intérieur peuvent donc être modifiées de façon optimale par les différents éléments de toiture décrits ci-dessus. L'espace compris entre la toiture vitrée et le faux plafond, praticable, ne comprend pas seulement tous les équipements liés à la sécurité et à l'éclairage, il sert aussi d'espace tampon très efficace.

Le système de climatisation et de ventilation a aussi été optimisé à l'aide de modèles de simulation. L'énorme succès rencontré par le musée lors des premières années a mis à rude

épreuve l'installation technique. Il a toutefois été possible, en l'espace de 18 mois à deux ans, dans le cadre d'une amélioration énergétique, de réduire les volumes d'air nécessaires, et donc la consommation d'énergie, de 30 à 40%, sans pour autant remettre en question les conditions atmosphériques exigées pour les objets exposés. Dans le bâtiment, la technique est pour ainsi dire invisible. Les thermo-hygromètres sont intégrés dans les murs dans de discrets boîtiers recouverts de tôle perforée.

Sur les petits côtés, la couverture en verre et la charpente métallique sont en saillie et donnent de l'ombre. Les toitures vitrées, en porte-à-faux sur les longues façades, protègent les murs en pierre naturelle et font penser, par leur pente légèrement inversée, que l'ensemble du toit flotte. Cet élément de construction ne fait pas qu'apporter une note particulièrement esthétique au bâtiment, il est devenu l'emblème du musée.

9 Fixation des brise-soleil en aluminium moulé et supports ponctuels, sans échelle

10 Vue sur les brise-soleil, le chéneau et la rive de toiture

11 Vue d'une salle d'exposition donnant sur le parc

12 Vue extérieure (en page 200)



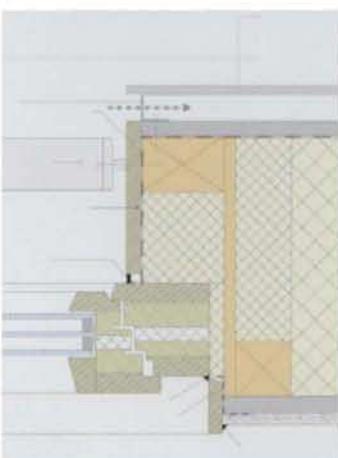


**CONCEPTION DES DÉTAILS  
ET AMÉNAGEMENT TECHNIQUE  
ÉNERGÉTIQUEMENT EFFICACES**

# CONCEPTION DES DÉTAILS ET AMÉNAGEMENT TECHNIQUE ÉNERGÉTIQUEMENT EFFICACES



1



2

## Dispositions et matériaux

### Situation de départ

L'enveloppe d'un bâtiment agit comme un vêtement: elle protège des températures extrêmes et des variations climatiques. Plus cette fonction est assurée avec efficacité, moins la consommation d'énergie pour le chauffage ou la climatisation est importante. La technique et la construction devraient par conséquent être pensées en fonction des exigences climatiques et fonctionnelles.

Les besoins thermiques d'un bâtiment sont en relation directe avec les déperditions de l'enveloppe. Les déperditions thermiques par transmission sont proportionnelles à sa surface et à son coefficient de transmission thermique. La première peut être réduite par une conception compacte, le second par une isolation thermique homogène et de qualité. On devra examiner cette qualité avec une grande attention, surtout pour les éléments de grandes dimensions.

L'enveloppe d'un bâtiment comprend en règle générale des parties transparentes et d'autres qui ne le sont pas. En raison de leur coefficient U élevé, les surfaces vitrées ont des déperditions thermiques par transmission bien plus importantes que les parties opaques, mais elles doivent satisfaire à d'autres exigences comme la ventilation naturelle, l'éclairage naturel, la vue sur l'extérieur et aussi assurer un rôle de nature esthétique. Ces éléments de construction forment en outre la base d'une utilisation passive de l'énergie solaire – qui dépend de la qualité de la conception.

### Surfaces vitrées

Les châssis et la qualité du vitrage sont essentiels pour la mise en œuvre de surfaces vitrées. L'industrie du vitrage a récemment réalisé des progrès considérables. Grâce au triple vitrage rempli de gaz rare et aux revêtements spéciaux appliqués sur ses faces, on a pu atteindre des coefficients U bien meilleurs, et ce, avec un surcoût inférieur à 25 % par rapport à un vitrage isolant classique. La tendance est d'ailleurs à la baisse des prix en raison de leur plus large utilisation. Pour les vitrages isolants classiques déjà, le coefficient U des châssis est moins bon que celui du vitrage. C'est pourquoi les bons

coefficients U des triples vitrages ont amené à une évolution similaire dans le domaine des huisseries. On a donc mis au point des châssis intégrant des isolants, en général de la mousse de polyuréthane (PUR), mais aussi d'autres matériaux comme le liège. Ces châssis sont néanmoins nettement plus chers que ceux des anciennes fenêtres. Et, surtout, l'épaisseur du triple vitrage nécessite des cadres eux aussi plus épais et plus lourds; cela explique les jugements négatifs sur le plan esthétique. De grandes surfaces vitrées d'un seul tenant permettent dans ce cas de réduire la part des huisseries. De même, la différenciation entre des surfaces vitrées fixes et des ouvrants placés aux bons endroits permet de réservier ces fortes dimensions à un nombre restreint d'éléments. Dans le cas des façades poteau-poutre qui ne comprennent que quelques éléments mobiles, le triple vitrage s'associera très bien à des profils porteurs plus élancés – le tout à un meilleur prix.

L'amélioration des standards des fenêtres doit aller de pair avec le plus grand soin accordé à la liaison avec la façade, que ce soit pour éviter les ponts thermiques ou pour assurer l'étanchéité. Comme le montrent la plupart des tests Blower-Door, c'est là que se situent en général les fuites.

### Murs

Pour la construction d'éléments opaques, plusieurs exigences doivent souvent être assurées en même temps. Certains éléments ou matériaux peuvent remplir différentes fonctions, comme un isolant transparent qui offre à la fois des qualités d'isolation thermique et de translucidité. Un problème apparaît quand un même élément ou matériau doit répondre à des exigences non compatibles sur le plan des principes physiques. Mettre en œuvre un matériau à la fois isolant et stockant l'énergie suppose en général des compromis où aucune des deux fonctions n'est assurée de façon optimale. Dans ce cas, la bonne solution consiste à opter pour la conjonction de deux matériaux ou éléments aux qualités différentes. Des murs extérieurs en construction légère permettent d'obtenir un coefficient U élevé en employant des matériaux isolants et légers dans l'épaisseur du mur. À cet égard, les éléments de construction possédant

1 Liaison étanche au vent entre la fenêtre et la façade. Les plans d'exécution de détail requièrent une grande attention.

2 Résidence pour étudiants à Wuppertal, Architektur Contor Müller Schlüter, 2000-2003, (voir aussi p. 116). L'isolation recouvre le dormant de la fenêtre et réduit les ponts thermiques.



3

une bonne inertie calorique sont très utiles à l'intérieur car ils atténuent les variations de températures. La réalisation d'enveloppes extérieures à plusieurs couches offre de plus la possibilité de placer à l'intérieur les parties massives, utilisées pour leur inertie et, à l'extérieur, celles qui isolent. Une isolation extérieure et homogène renforce aussi les points faibles sur le plan thermique. Dans une construction démontrant une bonne efficacité énergétique, les joints entre les éléments réclament une attention particulière, surtout pour éviter au maximum les ponts thermiques.

#### Matériaux isolants

Le développement actuel des isolants a pour objectif de créer les produits ou complexes isolants le plus polyvalents possible, et de les adapter à un domaine spécifique. De nombreuses applications récentes sont issues des biotechnologies; elles prennent la nature comme modèle pour pouvoir réagir à certaines sollicitations avec des procédés techniques comparables. Les développements formels, techniques et naturels présentent de nombreuses similitudes: les isolants translucides sont proches notamment de la fourrure des ours polaires. En dépit de toutes leurs analogies formelles et fonctionnelles, leur structure interne reste néanmoins assez différente. Dans ce domaine, la nature se révèle en effet bien plus efficace que la technique car elle produit avec un apport énergétique minimal (en général de l'ordre de seulement 40 °C), travaille avec un meilleur rendement et s'avère recyclable en totalité.

Les isolants transparents (TIM: Transparent Insulation Materials) allient les bonnes performances d'isolation thermique à la transparence au rayonnement solaire. Placé devant un mur massif, celui-ci peut accumuler le rayonnement solaire et le transmettre à retardement à la pièce. Cela permet de réduire la consommation d'énergie et de rendre positif le bilan effectif du mur.

Ce système est une évolution du mur Trombe dans lequel une vitre sert de collecteur et de protection contre les déperditions thermiques. Sous les climats froids, la protection thermique du vitrage n'est toutefois pas suffisante pour

que le bilan énergétique du mur soit positif. Le principal obstacle à l'utilisation accrue des isolants transparents réside en fait dans leur coût élevé dû en grande partie à la couche de protection transparente et aux éléments de régulation comme les pare-soleil. L'emploi d'isolants transparents dans une façade composée de montants et de traverses simplifie le montage de l'ossature. Pour la couverture, l'utilisation de panneaux de polycarbonate est envisageable. Dans le cas d'un complexe isolant, avec une couche de revêtement en verre transparent, la protection vitrée devient inutile. Suivant la surface, il est également possible de renoncer à la protection solaire.

L'isolation faite de carton nid-d'abeilles est proche des TIM par son apparence et en partie par sa fonction. Là aussi, un revêtement extérieur vitrifié sert de protection contre les intempéries; mais à la différence des TIM, le carton nid-d'abeilles n'est pas translucide. Il absorbe lui-même la chaleur et se comporte comme un tampon pour la construction située derrière. Selon la position du soleil (été ou hiver), ses rayons peuvent pénétrer plus ou moins en profondeur et le réchauffer en conséquence. De plus, les alvéoles horizontales empêchent les déperditions par convection, ce qui en renforce encore les qualités isolantes. Enfin, tous les composants de ce système sont réutilisables.

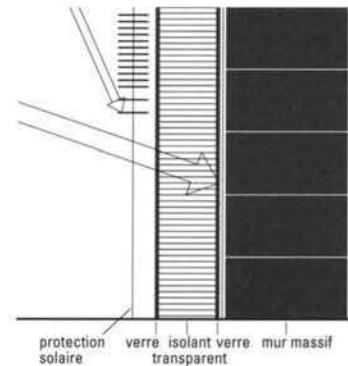
En raison de son coefficient de conductivité thermique réduit de près de dix fois ( $\lambda$  autour de 0,004 W/mK), il est possible, avec une isolation sous vide, d'atteindre des coefficients U extrêmement bas avec une épaisseur et donc une quantité de matériau très faibles. L'âme de ce produit, développé récemment, est souvent de l'acide silicique microporeux – un très mauvais conducteur de chaleur – que l'on a enfermé dans une enveloppe en verre, en métal ou en plastique métallisé, mise sous vide. Il n'existe encore, à l'heure actuelle, aucune homologation pour ces panneaux. Pour leur mise en œuvre, une demande d'agrément particulière sera nécessaire.

Les produits de ce type utilisés jusqu'à maintenant dans le bâtiment sont des panneaux de quelques centimètres d'épaisseur. Les problèmes liés à leur mise en œuvre sont le tra-

3 Maison Estevez à Mendoza, Argentine, C. de Rosa, 1985. Le mur Trombe, en tant que façade solaire, constitue le principe originel de l'isolation transparente.

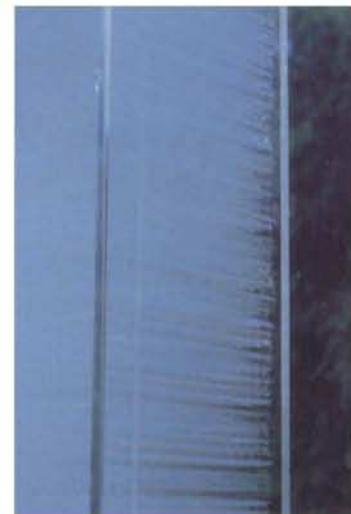
4 Élément de façade solaire avec un isolant transparent

5 Isolant transparent



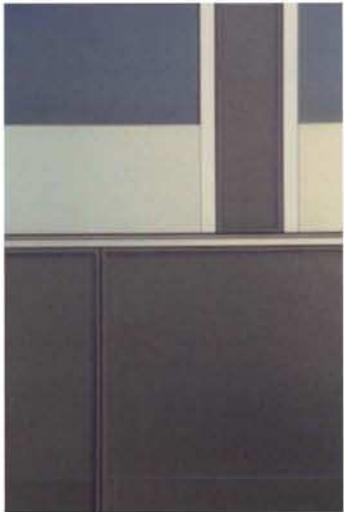
4

5





6



7

tement des ponts thermiques au niveau des joints entre panneaux et leur maniement très délicat. La déchirure de la fragile enveloppe de protection supprime le vide et donc les hautes qualités isolantes du panneau. Cela explique leur emploi assez rare pour le moment. La fixation mécanique n'est possible que sur les bords des panneaux. Ces bords sont souvent renforcés par un cadre de protection plus rigide pour éviter tout risque de détérioration au montage.

Les tolérances dans le dimensionnement des panneaux ou du cadre de protection ainsi que dans le collage de l'enveloppe sur les bords occasionnent des points faibles au niveau des joints. Ceux-ci sont souvent recouverts avec des matériaux isolants classiques qui, en raison de leur faible épaisseur, ne sont pas équivalents. C'est pourquoi les panneaux sont, la plupart du temps, revêtus en totalité par un matériau isolant supplémentaire qui sert aussi de protection de surface. Pour des raisons de coût, ces panneaux sont pour l'instant réservés à des parties où l'isolation nécessaire n'est pas réalisable avec des matériaux traditionnels ou ne serait pas rentable. Il s'agit notamment des sols de bâtiments existants qui n'offrent qu'une faible hauteur disponible, des terrasses au-dessus de pièces chauffées sans rupture de pont thermique entre intérieur et extérieur, des immeubles classés monuments historiques et aussi des éléments de construction comme les portes d'entrée ou les panneaux d'allège des façades vitrées. Dans le cas d'une utilisation en façade, la faible épaisseur de ce produit augmente la surface utile, ce qui peut représenter un réel avantage financier, surtout pour une construction à plusieurs niveaux en centre-ville.

#### *Inertie thermique*

Une enveloppe bien isolée et une construction compacte permettent de réduire la consommation d'énergie. Pour couvrir les besoins restants, l'énergie solaire peut apporter une forte contribution. Durant les journées très ensoleillées et surtout pendant les périodes de transition, l'énergie solaire accumulée de façon passive ne peut pas être exploitée en totalité. Comme l'on ne peut ni évacuer la chaleur excédentaire



8



9

ni arrêter le rayonnement solaire, cela entraîne des surchauffes. Meilleure est la capacité de stockage, moins il y aura de déperdition de chaleur. L'inertie thermique permet en outre le lisage des températures intérieures en hiver comme en été, saison qui connaît les principaux risques de surchauffe surtout dus aux charges internes. Avec l'assistance d'une ventilation nocturne, l'inertie thermique peut aussi servir de « réservoir de froid ». Elle n'est toutefois pas suffisante; il faudra prendre d'autres dispositions essentielles (comme la protection solaire) au moment de la conception.

Pour augmenter l'inertie thermique à l'intérieur d'un bâtiment, des matériaux à changement de phase (PCM : Phase Change Materials) ont été depuis peu introduits avec succès en tant qu'accumulateurs thermiques à chaleur latente. Le changement d'état physique du matériau (lors du processus de fusion), à température de matériau constante, s'accompagne de la captation d'une grande quantité d'énergie thermique. Au cours du processus inverse (la solidification), lorsque la température baisse, cette énergie est à nouveau restituée. L'eau est le plus connu des accumulateurs thermiques à chaleur latente: on peut, par exemple, l'utiliser sous forme de glace pour refroidir.

La mise en œuvre dans le bâtiment nécessite toutefois des matériaux dont le changement de phase se situe dans la plage de températures

6 Complexe de bureaux à Duisbourg, Schuster Architekten, 2002. Détail de la façade avec le carton nid-d'abeilles (voir aussi p. 134)

7 Cf. 6: détail de la façade

8 Réovation thermique et restructuration d'une école maternelle des années 1970 à Lochham, Pollok + Gonzalo, 2003

9 Cf. 8: isolation du radier (sans sous-sol) avec des panneaux d'isolation sous vide



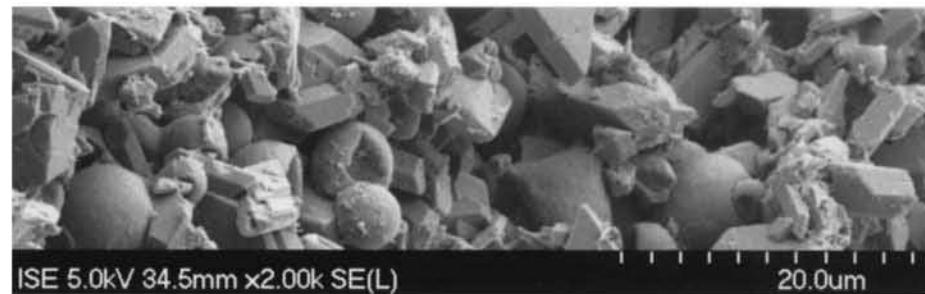
10



11

de la pièce. Ces propriétés ont jusqu'ici été obtenues avec du sel et de la paraffine. Les PCM se retrouvent sous différentes formes de conditionnement, en sachet, en récipient ou en panneau, pour les murs solaires. Du fait de leur grande capacité de stockage, ils peuvent être intégrés dans les sols ou les plafonds sous forme de membranes. Grâce au micro-capsulage, ils peuvent aussi être mélangés à l'enduit.

Même pour de faibles variations de température, ces matériaux peuvent stocker une grande quantité de chaleur, et ce, de façon tout à fait passive, sans apport d'énergie. Le principal avantage réside surtout dans leur faible poids et leur encombrement réduit. Dans le cas d'une journée normale, deux centimètres d'enduit comprenant 30% de PCM ont une capacité de stockage de chaleur égale à celle d'un mur en béton de 18cm. Ils peuvent également contribuer de manière importante au lissage des températures. Dans un immeuble d'habitation, on dispose la plupart du temps d'une masse d'inertie suffisante. Avec une isolation thermique de qualité et de faibles variations de température, les PCM n'ont pas d'incidence sensible. La situation est différente dans les immeubles de bureaux. Surtout en été et pour des bâtiments légers, les PCM contribuent pour beaucoup à éviter les surchauffes dues au rayonnement solaire ou aux charges thermiques internes. Avec une ventilation nocturne bien conçue, le cycle de



12

régénération s'accomplit et la chaleur emmagasinée est évacuée.

#### Perspectives

La recherche et l'industrie redoublent d'efforts pour développer des composants et des systèmes de construction. La phase de l'innovation et de l'invention de produits doit désormais être suivie d'une mise en œuvre significative dans le bâtiment. Il revient aux architectes de faire la preuve de l'intérêt au quotidien des nouveaux produits, d'en évaluer le potentiel et de voir ce que cela implique au niveau de la conception.

Il serait encore préférable qu'ils assurent la fonction de précurseur et formulent eux-mêmes des avis techniques, constructifs et plastiques pour de futurs développements. L'engouement pour l'innovation devrait cependant être regardé d'un œil critique. Avant de se lancer dans de nouvelles voies, il convient de définir les besoins réels:

«L'idée selon laquelle il faut réaliser tout ce qui est faisable sur le plan technique est un rêve puéril de toute-puissance, touchant chez un enfant, mais criminel chez un adulte. C'est surtout là la manifestation d'une mentalité fondamentalement non technique. La technique consiste au contraire à mettre à disposition des moyens en fonction d'objectifs. Là où il n'y a pas d'objectif, les moyens sont inutiles. Celui qui n'examine pas les objectifs va à contre-courant d'une technique raisonnable.» (1)

Évaluer les faits en faisant montre d'une précision trop technocratique conduit souvent à une approche monocausale des relations architecturales. Ce type de développement est certes justifiable quand il s'agit d'améliorer un système ou une application donnée. Il devient toutefois dangereux dès lors qu'il vise une optimisation effrénée de certains aspects particuliers d'un projet global. La conception étant un processus complexe, il est donc essentiel de comprendre les tenants et les aboutissants et de définir une échelle de valeurs. Les architectes ont ici à jouer un rôle intégrateur essentiel.

10 Immeuble d'habitation et de bureaux à Munich, Martin Pool, 2004. Complex isolant sous forme de panneaux d'isolation sous vide (voir aussi p. 62)

11 Ensemble résidentiel à Wolfurt: l'isolation sous vide de la terrasse située au-dessus d'un volume chauffé permet un cheminement sans rupture de niveau entre intérieur et extérieur (extrait de: Krapmeyer, Drössler: CEPHEUS, Springer 2001)

12 Enduit avec micro-capsules: vue au microscope électronique à balayage

(1) Carl Friedrich von Weizsäcker: *Bewusstseinswandel*, Munich 1991



15

## Concepts de ventilation et systèmes énergétiques

Andreas Lackenbauer

### Concepts de ventilation

Les installations de ventilation satisfont aux principales exigences en matière d'hygiène et de physique du bâtiment, et ce, avec une bonne efficacité énergétique; on doit en prévoir partout où la ventilation naturelle ne suffit pas: en fonction des exigences d'utilisation (p. ex. les écoles), des conditions constructives (p. ex. les locaux éloignés des façades) ou d'exigences énergétiques élevées (p. ex. les maisons au standard passif).

En tant que système de ventilation simple et éprouvé, la ventilation naturelle par la fenêtre peut certes faire partie d'une solution durable pour le bâtiment, mais il faut néanmoins savoir qu'en raison de sa dépendance vis-à-vis de la thermique et de la pression du vent, ce type de ventilation reste une «ventilation aléatoire» et qu'elle exige des utilisateurs une grande attention et des interventions régulières.

Dans le logement, les changements de sens du vent modifient la direction de l'écoulement de l'air dans les appartements. L'air humide et chaud de la salle de bains et de la cuisine peut se condenser dans les pièces laissées plus fraîches ou bien même à l'intérieur des éléments de construction en cas d'imperméabilité à l'air insuffisante.

Dans les immeubles de bureaux, l'exigence de ventilation est surtout liée à l'agencement des locaux. Les bureaux individuels peuvent être ventilés par la fenêtre tout en assurant un réel confort. Les bureaux combinés, dont une grande partie est située dans l'espace intérieur, donc sans fenêtres, nécessitent au moins une extraction d'air mécanique. Quant aux bureaux paysagés, une installation d'aménée et d'extraction d'air mécanique est indispensable en raison de leur forte densité d'occupation et de la diversité des espaces. Il faut néanmoins toujours avoir à l'esprit que l'on ne pourra réaliser d'importantes économies d'énergie qu'avec une installation de climatisation mécanique équipée d'un récupérateur de chaleur.

### Zones de ventilation

Si l'on a opté pour une installation de ventilation mécanique, une définition de zones dans le bâtiment se révèle nécessaire. Ce principe d'aménagement doit faire en sorte que toutes les pièces et zones participent à égalité au renouvellement d'air. Chaque pièce d'un logement ou chaque bureau sera affecté à l'une des zones de ventilation suivantes:

**Zone d'extraction d'air:** évacuation de l'air vicié depuis les pièces qui présentent des odeurs, de l'humidité ou des nuisances (p. ex. la cuisine ou la salle de bains). Par l'extraction, la pièce sera en légère dépression, entre 4 et 10 Pa.

**Zone d'amenée d'air:** amenée d'air neuf dans les chambres, séjours et pièces individuelles par de simples systèmes d'amenée d'air utilisant la dépression légère due aux entrées d'air en façade. Les installations de ventilation permettent un réglage par insufflation d'air neuf en légère surpression.

**Zone balayées:** espaces ou pièces (p. ex. les couloirs ou bien le coin-repas de la cuisine) placés entre les zones d'amenée d'air neuf et celles d'extraction de telle sorte qu'un balayage d'air soit suffisant sans bouche d'amenée d'air ni bouche d'extraction.

### Installations de ventilation avec récupération de chaleur

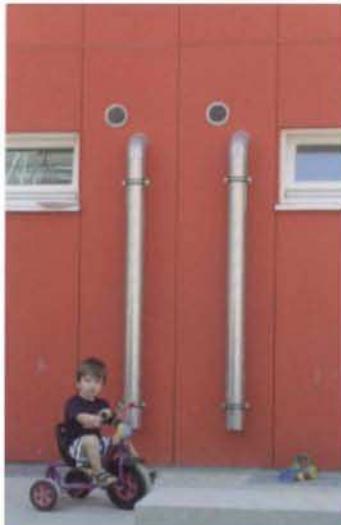
Les systèmes de ventilation des bâtiments avec une bonne efficacité énergétique ne sont pas conçus comme des installations de climatisation complètes, mais souvent comme des installations «de remplacement» qui ne peuvent donc ni humidifier, ni rafraîchir. Dans ces conditions, une aération par la fenêtre s'avère indispensable.

Pour s'assurer une bonne qualité, il est recommandé de respecter pour toutes les installations de ventilation les normes maison passive. Les critères retenus constituent non seulement un gage de performance énergétique de l'installation mais aussi de rentabilité.

Ces critères sont pour l'essentiel les suivants:  
**Confort d'amenée d'air:** la température minimale doit être supérieure à 16,5 °C.

**Récupération de chaleur:** la chaleur récupérée doit être supérieure à 75%.

**Efficacité électrique:** la puissance consommée par l'installation de ventilation doit être inférieure à 0,45 W/m<sup>3</sup>/h d'air insufflé.



13

14





16

Hygiène de l'air intérieur: filtres d'air extérieurs et filtres d'extraction sont indispensables.

Bruit: le niveau acoustique ne doit pas dépasser 25 dB(A).

D'autres exigences relatives à l'étanchéité, à la protection par rapport au gel, à l'isolation et à la capacité d'équilibrage s'appliquent aussi aux appareils de ventilation.

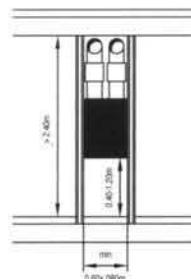
Differentes sortes d'échangeurs de chaleur seront utilisés selon l'utilisation, le type de bâtiment ou le débit d'air. Dans les logements, il faut veiller à bien séparer le flux d'air frais et le flux d'air vicié; on installe en majorité des échangeurs à plaque à contre-courant. Dans les bâtiments publics plus importants comme ceux de bureaux (à partir de plus ou moins 3000 m<sup>3</sup>/h), les échangeurs de chaleur rotatifs sont souvent plus économiques. Dans les cas où la place manque pour l'installation, il est possible d'utiliser des installations combinées qui n'offrent qu'un apport de chaleur moindre et ne peuvent être mis en œuvre qu'avec un système de préchauffage complémentaire: nappe ou sonde géothermique, puits canadien, par exemple.

#### *Installations de ventilation centralisées ou décentralisées*

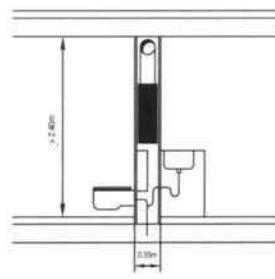
Les installations de ventilation centralisées peuvent traiter plusieurs unités différentes et permettent un réglage individuel au moyen de régulateurs de débit d'air et parfois des appareils de chauffage.

À condition d'être bien disposées, les installations de ventilation centralisées peuvent être plus économiques – même pour de petites unités – que des installations décentralisées ou des appareils de ventilation placés dans chaque pièce ou chaque logement. Ce qui importe, c'est la disposition des centrales de traitement d'air (CTA). Comme les espaces situés à l'intérieur du volume chauffé sont en règle générale trop précieux pour en faire un local technique, la CTA est la plupart du temps installée en toiture ou en sous-sol. L'air extérieur passe par des gaines verticales avant d'être insufflé dans les locaux. Les installations de ventilation centralisées doivent être prévues dès la conception du bâtiment.

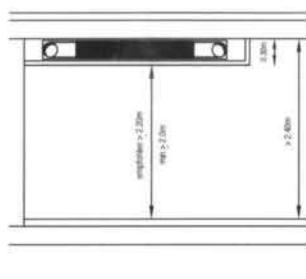
Pour la mise en place d'équipements décentralisés, on prend en compte les souhaits les plus fréquents: l'aménée directe d'air frais en façade, l'intégration simplifiée de la technique dans



17 dans un local technique



intégrée dans un mur



en faux plafond

13 Immeuble d'habitation Am Ackermannbogen, A2-Architeken, NEST GmbH, 2004. Disposition des bouches d'aménée et d'extraction d'air en façade

14 Cf. 13

15 Immeuble de bureaux et d'habitation à Schwarzwach, Vorarlberg, Lenz-Kaufmann, 1999. Bouches d'entrée d'air réglables (voir aussi p. 122)

16 Immeuble d'habitation et de bureaux, Munich, Martin Pool, 2004. Grille d'aménée d'air et d'extraction (voir aussi p. 62)

17 Différents emplacements possibles pour les installations de ventilation décentralisées

18 Test Blower-Door. Lors de la mise en service d'une VMC, le contrôle de l'étanchéité du bâtiment est indispensable.

le bâtiment, l'application facilitée des règles de protection incendie et la flexibilité d'aménagement intérieur et d'utilisation des locaux et unités – chambres ou bureaux.

Les installations décentralisées entraînent toutefois des coûts de fonctionnement nettement plus élevés et font courir le risque d'une consommation énergétique supérieure en raison de dysfonctionnements d'origine inconnue.

Dans les immeubles d'habitation, les systèmes compacts doivent être prévus dans une zone à l'écart des pièces à vivre pour des raisons de nuisance sonore et d'esthétique. L'installation d'appareils individuels pour une seule pièce (cuisine, salle de bains) est déconseillée parce que énergétiquement peu efficace. Les unités décentralisées sont intégrées dans les allèges des bureaux ou dans les faux plafonds; il faut alors veiller à ce que le taux de récupération de chaleur de l'échangeur thermique installé soit suffisant.

#### *Concepts de chauffage et de climatisation: sources d'énergie*

Les combustibles fossiles et les appareils de production de chaleur traditionnels alimentent encore la plupart des systèmes de chauffage actuels. On peut y recourir quand les besoins de chauffage sont extrêmement réduits ou lorsque les conditions d'utilisation n'offrent pas d'autre solution. Il convient pour tous les systèmes d'employer le combustible ayant le meilleur rendement possible et de minimiser la pollution. Les chaudières à condensation sont recommandées pour des combustibles liquides et gazeux.

L'électricité est le vecteur d'énergie le plus répandu. Or, les lois de la thermodynamique impliquent que, pour produire de manière traditionnelle une énergie de 1 kWh, il faut dépenser le triple en énergie primaire. Pour la production de chaleur, le courant électrique devrait donc être remplacé dans une large mesure par d'autres vecteurs; il pourra toutefois être utilisé dans des cas exceptionnels et pour de très faibles besoins de chauffage – p. ex. pour la protection contre le gel, ou pour les pompes à chaleur dans les maisons passives.

#### *Production combinée de chaleur et d'électricité (cogénération)*

Selon les estimations de l'Institut Fraunhofer, l'énergie électrique sera à l'avenir produite de



18

19 Ensemble résidentiel à Munich, H2R, 2001. Les capteurs solaires en toiture au-dessus des balcons suspendus servent aussi de pare-soleil (voir aussi p. 56).

20 Immeuble de bureaux et d'habitation à Schwarzenbach, Vorarlberg, Lenz-Kaufmann, 1999. Panneaux solaires intégrés dans le garde-corps des terrasses (voir aussi p. 122)

façon décentralisée. «Les centrales à grande puissance sont de plus en plus concurrencées par un réseau très ramifié de modules de cogénération, d'éoliennes, d'installations photovoltaïques et de piles à combustible.»

En comparaison avec l'approvisionnement classique, le cogénérateur présente des avantages évidents sur le plan énergétique. Par la production simultanée d'électricité et de chaleur, il est ainsi possible de contribuer fortement à la réduction des émissions de dioxyde de carbone: l'économie en énergie primaire peut atteindre 40%.

Le gaz naturel permet un fonctionnement optimal des cogénérateurs. Le fioul de chauffage (EL), l'huile de colza ou l'esther de méthyle de colza (RME) peuvent aussi servir de combustible. Des investissements plus élevés et une maintenance accrue entraînent des frais d'exploitation nettement plus importants.

Avec ce type d'appareil, environ un tiers de l'énergie transformée est disponible sous forme d'électricité. Un dimensionnement et une intégration bien pensés permettent d'utiliser soi-même une grande partie de cette énergie électrique. Grâce à une importante diminution de la facture d'électricité et aux avantages fiscaux accordés aux installations de production combinée électricité-chaleur (cogénération), on amortit assez vite une telle installation.

Dans les immeubles traditionnels de bureaux et d'habitation, les cogénérateurs fonctionnent en parallèle avec le réseau public. Pour des raisons techniques, la fourniture de courant de substitution n'est pas possible (générateur asynchrone) dans ce type d'installation.

#### *Combustibles d'origine végétale (biomasse)*

Les combustibles d'origine végétale sont solides (bois, paille), liquides (huile végétale) ou gazeux (biogaz) et libèrent lors de la combustion la même quantité de dioxyde de carbone que celle captée par l'atmosphère au cours de leur croissance. Une exploitation durable donne ainsi lieu à un circuit fermé.

Pour produire de la chaleur, on se sert essentiellement de combustibles solides sous forme d'éclats de bois, de copeaux ou de plaquettes faites de chutes de bois naturel (granulats, appelés aussi pellets). Les chaudières à granulats de bois sont bien adaptées pour chauffer



20

les maisons individuelles et des installations jusqu'à environ 100 kilowatts.

Les combustibles sont livrés, comme le fioul, par camion-citerne et présentent une grande diversité de modes d'utilisation ainsi qu'une combustion n'entraînant que peu de nuisances. Les copeaux peuvent provenir directement de l'industrie forestière ou d'industries de traitement du bois, mais ils sont néanmoins souvent utilisés dans des exploitations agricoles ou dans des centrales de chauffage urbain en raison des difficultés (relatives) d'approvisionnement et d'évacuation des déchets.

L'huile végétale est trop précieuse pour n'avoir qu'un usage purement thermique; elle connaît en effet une multitude d'utilisations: denrée alimentaire, carburant ou lubrifiant. Elle peut toutefois servir à la production d'électricité dans des cogénérateurs.

#### *Énergie solaire thermique et photovoltaïque*

Les installations solaires thermiques peuvent réchauffer l'eau pour le chauffage et le sanitaire grâce à des capteurs solaires et la stocker pour de longues durées dans des ballons. Une surface hors œuvre brute de 30 m<sup>2</sup> demande au moins 1 m<sup>2</sup> de surface de capteur et un réservoir tampon de 100 litres. Les systèmes doivent être dimensionnés avec précision et conçus simplement pour réduire les périodes d'immobilisation et les frais de maintenance. Les installations importantes de préchauffage de l'eau chaude sanitaire ou de chauffage peuvent utiliser l'énergie solaire à un coût de 0,10 à 0,13 €/kWh: bien meilleur marché que les petites installations.

Les installations photovoltaïques servent à produire du courant électrique. Elles sont indépendantes ou raccordées au réseau de distribution électrique. En autonomie, comme pour les refuges de montagne ou pour l'alimentation d'unités techniques décentralisées, les batteries sont indispensables. Les installations connectées au réseau public se servent de celui-ci comme d'un réservoir: si elles produisent plus d'électricité que nécessaire, le surplus est réinjecté au moyen d'un onduleur. Couplée au réseau, l'installation photovoltaïque n'entraîne pas de répercussions sur le bâtiment ou sur d'autres systèmes techniques. Il s'agit ici surtout de profiter des toitures.

19





21

#### Pompe à chaleur et groupe frigorifique

Les pompes à chaleur utilisent le niveau de température d'une source locale existante (air, nappe phréatique, sol) et l'élèvent à la température nécessaire au chauffage de la pièce au moyen de compresseurs fonctionnant souvent à l'électricité. Plus la température de la source de chaleur est élevée et constante et plus celle de l'eau chaude est basse, moins il faudra consommer d'énergie électrique.

Les pompes à chaleur peuvent être mises en œuvre dans des bâtiments économes en énergie quand ils sont équipés de systèmes de chauffage par rayonnement (plancher ou plafond chauffant) alimentés en eau basse température ( $<28^{\circ}\text{C}$ ), et que la source de chaleur reste en permanence à disposition à une température élevée ( $>10^{\circ}\text{C}$ ) (nappe phréatique, sol). Dans de bonnes conditions de fonctionnement, il est possible d'obtenir en moyenne 4,5 kWh d'énergie de chauffage pour 1 kWh d'électricité consommée.

Le surcoût sensible de ces systèmes de production de chaleur n'est toutefois pas intéressant, ni financièrement ni énergétiquement, si on les utilise exclusivement pour le chauffage. Les pompes à chaleur ne sont rentables que lorsque serpentins (plancher ou plafond) et nappe phréatique ou sol sont aussi utilisés pour le rafraîchissement d'été du bâtiment.

Pour rafraîchir un bâtiment en l'été, la chaleur en excès du bâtiment est transférée dans le sol, de manière directe ou par l'intermédiaire d'une machine frigorifique. Pour de faibles différences de températures, le rafraîchissement par rayonnement – la forme la plus confortable – est aussi le moyen le plus économique sur le plan énergétique. Si l'on rafraîchit l'immeuble de façon directe, seule l'activation du circuit primaire de refroidissement nécessite de l'électricité. Si un rafraîchissement plus marqué est souhaité, on peut obtenir plus de 5 kW de puissance froid par kW de puissance électrique au moyen d'une machine frigorifique.

#### Rafraîchissement

Sous le climat d'Europe centrale, il est courant de rafraîchir les locaux, surtout dans les bâtiments administratifs, de bureaux ou de réunion. Cette régulation est indispensable quand on est en présence de charges internes ou externes

trop fortes, par exemple une trop grande proportion de baies vitrées ou de surfaces extérieures insuffisamment ombragées.

En ce qui concerne le contrôle de la température d'un bâtiment, le principe de rafraîchissement par convection naturelle s'est imposé par rapport à la climatisation. Des systèmes comme les planchers, plafonds ou murs rafraîchissants (activation du noyau de béton) apportent un confort bien supérieur, sont mieux acceptés par le public et réduisent de façon significative l'air échangé au minimum hygiénique – ce qui est important sur le plan énergétique.

La technique du plafond froid consiste à placer de grandes surfaces de rafraîchissement au plafond d'une pièce. Les sources de chaleur situées dans cette pièce transmettent l'excès de chaleur, soit directement par rayonnement, soit indirectement par convection, aux surfaces plus froides du volume. Les plafonds froids sont faciles à régler et leur consommation d'énergie peut être adaptée à chaque utilisateur. On peut aussi les intégrer après coup à un bâtiment ou bien progressivement à l'occasion d'une rénovation.

Selon la température du fluide caloporteur, il est possible de rafraîchir ou de chauffer. Si l'on utilise les deux fonctions, on peut faire l'économie d'un système de radiateurs.

Pour l'activation du noyau de béton, des serpentins en plastique dans lesquels circule de l'eau sont coulés dans la dalle de béton. L'ensemble du plancher rafraîchi fonctionne comme le plafond froid décrit ci-dessus mais, grâce à sa forte inertie thermique, il permet en outre un déphasage, c'est-à-dire un décalage dans le temps de la transmission des températures élevées de la journée. Ainsi, les pics de chaleur peuvent être réduits.

Dans les bâtiments économes en énergie, les planchers chauffants peuvent assurer une grande partie et parfois même la totalité des besoins en chauffage d'une pièce. La température de l'eau se situe entre  $18^{\circ}\text{C}$  en été et  $26^{\circ}\text{C}$  en hiver. Comme ils sont simples de construction, les systèmes d'activation du noyau de béton sont bien plus économiques que les plafonds froids.

En raison de l'inertie thermique et des flux d'air chaud ascendants ou descendants, les pièces ne peuvent pas être réglées une par une. La

21 Lotissement à Affoltern am Albis, Metron Architektur, 1998. La biomasse (bois) comme chauffage complémentaire (voir aussi p. 50)

22 Bureaux et ateliers Weidling, Reinberg, 2004. Intégration de panneaux photovoltaïques dans la façade (voir aussi p. 158)

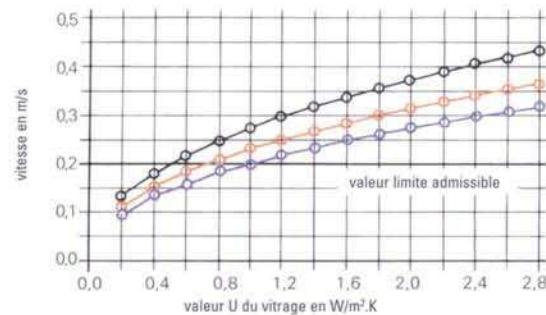


22

23 Immeuble d'habitation et de bureaux à Munich, Martin Pool, 2004. Des besoins en énergie réduits au minimum expliquent la petite taille des radiateurs (voir aussi p. 62).

24 Vitesse moyenne de la descente d'air froid le long de surfaces vitrées en fonction des valeurs U et de la hauteur des fenêtres: bleu 1,2 m; rouge 1,8 m; noir 3,0 m (selon Feist, 1998)

25 (page suivante) Immeuble de bureaux et d'habitation à Schwarzach, Vorarlberg, Lenz-Kaufmann, 1999. Vue intérieure des bureaux. Les gaines de ventilation sont regroupées dans le couloir central (voir aussi p. 122).



24

transmission de chaleur en hiver est autorégulée. Si la température de la pièce est inférieure à 23°C, la pièce sera chauffée par le plancher, dans le cas contraire, elle sera rafraîchie. De manière générale et dans certaines limites, un système de chauffage mural ou par le plancher peut aussi être utilisé comme système thermoactif.

#### Systèmes de chauffage

Comme les besoins en chauffage sont moins, les systèmes de chauffage sont moins sollicités que ceux des bâtiments traditionnels. Le confort thermique de base d'une maison bien isolée et bien ventilée est élevé et les besoins en chauffage complémentaire faibles. Dans ces conditions, les sources d'énergie habituelles sont certes toujours possibles mais pas vraiment indispensables. La principale question en matière de génie climatique est la suivante: Que peut-on simplifier? Quels systèmes peuvent être combinés en réduisant ainsi le coût global?

Chauffage par air: le chauffage par air en tant que système de chauffage monoventilé n'est possible, dans le cas d'espaces occupés en permanence, que si les besoins en chauffage sont très faibles. Des renouvellements d'air fréquents rendent l'air intérieur trop sec. Dans les immeubles de bureaux ou d'habitation, le chauffage par air ne devrait être installé que s'ils sont au standard passif car alors seulement les faibles besoins thermiques sont couverts par le renouvellement de l'air requis pour la santé. Les systèmes de chauffage par air sont en règle générale complétés dans les maisons passives par d'autres systèmes de chauffage dans certaines pièces. Les salles de bains, par exemple, sont souvent munies d'un radiateur en raison

de périodes d'utilisation très différentes et des températures de l'air souhaitées, assez élevées. Le réglage des systèmes de chauffage par air est très rapide. La disposition des bouches d'aménée d'air dans l'espace se fait selon les principes techniques de la ventilation.

Radiateurs: quelle qu'en soit la dénomination (radiateur, convecteur, radiateur) les radiateurs dégagent la plus grande partie de leur chaleur par convection dans l'air de la pièce. Ils se règlent assez vite, en fonction de leur poids et de la quantité d'eau chaude qu'ils contiennent. Ils doivent être placés de manière à réchauffer les surfaces froides situées à côté ou derrière eux. Les jours froids, quand les températures extérieures ne dépassent pas les -10°C, l'intérieur de la vitre d'un double vitrage courant peut être inférieur à 15°C. Dans des conditions plus défavorables, de l'air froid descend le long de la fenêtre; la présence d'un radiateur sous la fenêtre est alors indispensable. Si toutefois les critères indiqués dans l'illustration 24 sont respectés, le radiateur peut alors être placé librement dans la pièce.

Systèmes de chauffage surfacique: les systèmes de chauffage par le plancher, les murs ou le plafond offrent des surfaces d'émission de chaleur bien supérieures avec une basse température d'eau. La part du rayonnement de la chaleur émise augmente, mais n'est pas décisive pour le confort dans le cas de bâtiments bien isolés dont les surfaces intérieures sont à une température très élevée. Pour la seule production de chaleur (et aussi de rafraîchissement), les chauffages surfaciques peuvent être utilisés dans les bâtiments énergétiquement efficaces, mais ils sont bien plus chers que des radiateurs comparables ou même qu'un système de chauffage par air. Dans le cas de chauffage par le sol dans un immeuble énergétiquement efficace, il faut prendre en compte le fait qu'en raison de besoins de chauffage réduits et de l'influence des gains passifs de chaleur (phases d'inactivité, basses températures du fluide caloporteur), le sol laissera souvent une désagréable sensation de froid. Si l'on souhaite en augmenter la température, il faudra alors mettre en place un simple système de limiteur de température de retour. Pour éviter une surchauffe du bâtiment, on veillera à ne prévoir ce système que pour une petite partie des surfaces chauffées.

23





## Glossaire

Besoins en énergie finale de chauffage en kWhef/m <sup>2</sup> /an	Besoins annuels en énergie finale de chauffage rapportés à la surface hors œuvre nette du bâtiment. La valeur est obtenue en faisant le bilan des déperditions thermiques (par transmission H ou par ventilation H <sub>v</sub> ) et des apports en chaleur (solaires A <sub>S</sub> et internes A <sub>I</sub> ); elle caractérise la qualité technique de la protection thermique de l'enveloppe du bâtiment.
Besoins en énergie primaire en kWhep/m <sup>2</sup> /an	Besoins annuels en énergie primaire calculés (pour le chauffage des volumes, l'eau chaude sanitaire et le courant électrique nécessaire aux installations) par rapport à la surface hors œuvre nette du bâtiment
Bilan énergétique	Bilan des flux énergétiques d'un bâtiment, comme les déperditions thermiques (par transmission ou ventilation) et les apports énergétiques (rayonnement solaire, personnes, appareils)
Capteur géothermique	Souvent appelé puits canadien ou puits provençal, c'est un échangeur de chaleur comportant des tubes horizontaux enterrés à faible profondeur. La température de la terre étant constante, l'air neuf passant dans ces tubes est préchauffé en hiver et rafraîchi en été.
Chaleur de chauffage	Chaleur qui est effectivement destinée à un volume chauffé pour compenser les déperditions thermiques. Elle ne comprend pas les déperditions de l'installation de chauffage ni celles liées à la distribution.
Chaleur d'échappement	Chaleur émise par une machine, une turbine, en sus de sa fonction de base. Elle peut être récupérée dans certains cas et dans certaines proportions.
Chaleur perdue	Part du flux d'énergie inutilisée
Chauffage basse température	Chauffage dont la température du cycle est inférieure à 40 degrés Celsius
Coefficient d'enveloppe	Rapport entre la surface de l'enveloppe chauffée et la surface de référence énergétique.
Coefficient U (W/m <sup>2</sup> .K)	Le coefficient de transmission thermique indique la quantité de chaleur en watts qui transite par mètre carré et pour une différence de température d'un degré Kelvin au travers d'un élément de construction vers le côté froid.
Cogénération	Il s'agit de la transformation simultanée d'une énergie combustible (par exemple de l'huile minérale ou du gaz) en énergie électrique et en chaleur utile. Par rapport à la production séparée de courant (dans une centrale par exemple) et de chaleur (par exemple une chaudière), la quantité de combustible consommée (huile, gaz par exemple) est bien moins importante et les gaz nocifs (émissions, gaz à effet de serre) pour l'environnement et le climat s'en trouvent réduits.
Combustibles fossiles	Matières issues de la fossilisation d'êtres vivants ou de végétaux et dont on peut libérer l'énergie chimiquement contenue: pétrole, houille et gaz naturel Combustibles gazeux: gaz naturels et produits gazeux y compris le biogaz Combustibles liquides: huile minérale et ses dérivés, déchets liquides inflammables Combustibles nucléaires: matériaux fissiles à partir desquels on peut libérer de l'énergie physiquement contenue, uranium, plutonium, etc. Combustibles renouvelables: bois, biomasse, végétaux et extraits de végétaux Combustibles solides: charbon, tourbe, bois, déchets rigides inflammables
Conductibilité thermique ( $\lambda$ )	Quantité de chaleur qui traverse une couche de matériau d'un mètre carré et d'un mètre d'épaisseur pour une unité de temps donnée et par degré Kelvin de différence de température
Consommation d'énergie	Quantité d'énergie consommée sous différentes formes pour satisfaire les besoins énergétiques
Consommation en énergie de chauffage en kWh/m <sup>2</sup> /an	Consommation annuelle d'énergie finale pour le chauffage des volumes et l'eau chaude sanitaire (sans le courant de fonctionnement) rapportée à la surface chauffée du bâtiment (à cette occasion, les déperditions liées au système de chauffage sont prises en compte)
Convection	Transmission de chaleur par mouvement d'air
Demande en énergie de chauffage	Quantité d'énergie nécessaire pour le chauffage du bâtiment en considérant la demande de chauffage et les déperditions du système de chauffage
Demande en énergie finale	Quantité d'énergie qui doit être consommée pour le chauffage du bâtiment en considérant la demande en énergie pour le chauffage, les déperditions du système de chauffage, la demande en eau chaude sanitaire, les déperditions du système d'eau chaude sanitaire et l'énergie complémentaire nécessaire au fonctionnement de l'installation technique
Déperditions thermiques	Part de l'énergie utilisée dépensée non pour le fonctionnement du système mais qui en sort. Les déperditions ont lieu lors de la production, de la transformation, du transport, de la distribution et de l'utilisation. Elles sont soit inévitables par nature, soit évitables par des moyens techniques ou des comportements personnels.

Échangeur de chaleur	Appareil par lequel la chaleur d'un élément plus chaud est transférée à un autre plus froid (par exemple l'air ou l'eau)
Émissions	Particules solides, liquides ou gazeuses de différentes sortes et d'origines diverses émises dans l'air extérieur comme les odeurs, le bruit, les vibrations, la lumière, les rayons et autres phénomènes
Énergie de base	Contenu énergétique de toutes les sources d'énergie dont dispose l'utilisateur final
Énergie de chauffage	Quantité d'énergie finale nécessaire à l'installation de chauffage pour pouvoir mettre à disposition la chaleur de chauffage
Énergie finale	Énergie livrée à l'utilisateur pour faire fonctionner ses appareils ou énergie immédiatement disponible avant d'être dépensée. L'ensemble de ces énergies détermine la demande totale d'énergie. À ce stade, l'énergie est au mieux mesurable de façon statistique.
Énergie primaire	Source d'énergie stockée de façon naturelle dans le soleil, l'eau, le pétrole, le gaz naturel, la houille, etc. En France, le coefficient de conversion entre énergie finale et énergie primaire est de 1, sauf pour l'électricité (2,58) et pour le bois (0,6). Nota Bene: les valeurs du label français BBC 2005 et de la certification Effinergie sont données en kWh d'énergie primaire (kWhep), alors que celles du label Passivhaus, par exemple, sont données généralement en énergie finale.
Énergies renouvelables	Types d'énergies qui sont en permanence disponibles (énergie solaire, éolienne, hydraulique) ou tirées de matières d'origine végétale
Énergie utile	Énergie utilisée sous forme d'éclairage, de chauffage et d'électricité
Enthalpie	L'enthalpie (H) est une variable d'état thermodynamique déterminant le contenu calorifique global d'un système. Elle est la somme de l'énergie interne et de l'énergie élastique (c'est-à-dire l'énergie correspondant à la déformation élastique d'un objet solide ou d'un fluide): $H = U + pV$ .
Indice énergétique (E)	Consommation annuelle d'énergie finale pour la production de chaleur (chauffage des volumes, eau chaude sanitaire), pour l'éclairage, l'électricité et le fonctionnement, par rapport à la surface de référence énergétique ( $\text{kWh}/\text{m}^2/\text{an}$ ). Une division selon les indices énergétiques suivants est possible: indice énergétique de chaleur, indice énergétique de chauffage, indice énergétique d'eau chaude sanitaire et indice énergétique d'éclairage, électricité et fonctionnement.
Maison basse énergie	Bâtiment dont la consommation d'énergie de chauffage est inférieure à $70 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{an}$ pour les maisons individuelles et à $55 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{an}$ pour les plurifamiliales, ces normes, fixées par la EnEV (Energieeinsparverordnung), étant liées en Allemagne à l'attribution de subventions.
Maison de 3, 4 ou 7 litres	Bâtiment avec des besoins en énergie de chauffage de $30 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{an}$ , $40 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{an}$ ou $70 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{an}$ (1 litre de pétrole génère $9,95 \text{ kWh}$ )
Maison «zéro énergie»	Bâtiment autonome au niveau énergétique, c'est-à-dire qu'il produit l'énergie suffisante pour répondre à ses besoins en chauffage, en eau chaude et en électricité.
Minergie	Standard défini pour les maisons à basse énergie en Suisse et qui prend en compte l'eau chaude sanitaire, le chauffage et l'électricité. (électricité + ECS bâtiments neufs: $45 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{an}$ , bâtiments antérieurs à 1990: $90 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{an}$ , électricité pour les deux: $17 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{an}$ ). Plusieurs labels de ce type sont déjà opérationnels en France, comme Minergie Standard avec une exigence de $42 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{an}$ pour le neuf et $80 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{an}$ pour la rénovation, Minergie-P pour les bâtiments dits «passifs» et enfin Minergie-Eco pour les maîtres d'ouvrage souhaitant intégrer les paramètres écologiques comme la santé, le recyclage, l'énergie grise. Il existe en outre un label Effinergie, lancé en mars 2007. La valeur maximale pour du résidentiel neuf, fixée à $50 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{an}$ ( $\text{kWh}$ énergie primaire, $\text{m}^2/\text{shon}$ ), est à moduler selon les régions et l'altitude. Voir aussi «Passivhaus»
Pare-vapeur	L'épaisseur de la couche d'air $\mu$ équivalente à la diffusion de vapeur d'eau d'une couche de matériau est définie par l'épaisseur de sa couche $s$ et par le coefficient de résistance à la diffusion de la vapeur d'eau $S_d$ du matériau. Les valeurs des matériaux courants sont indiquées dans la norme DIN 4108, 4 <sup>e</sup> partie. Plus la valeur $S_d$ est élevée, moins la quantité de vapeur d'eau pénétrant dans la couche est importante. Les pare-vapeur ont des coefficients $S_d$ élevés. S'ils sont correctement mis en place, ils empêchent la pénétration d'air plus chaud et humide dans les parties extérieures et donc la présence d'eau de condensation à l'intérieur des éléments de construction. Les valeurs $S_d$ des freine-vapeur sont bien inférieures: leur emploi nécessite des calculs précis de physique du bâtiment.
Part de couverture des besoins	Contribution de l'installation ou du système aux besoins (chaleur, chaleur pour le chauffage, eau chaude sanitaire ou courant électrique)
«Passivhaus»	Bâtiment avec des besoins en énergie finale de chauffage inférieurs à $15 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{an}$ ; cela correspond au label suisse Minergie-P.
PCM	Signifie Phase Change Materials. Les hydrates de sel et la paraffine peuvent au moment du passage de l'état solide à l'état d'agrégats liquides dégager ou absorber une part relativement importante de chaleur sans que l'on perçoive un changement de température. Les matériaux à changement de phase sont intégrés en tant qu'accumulateurs thermiques à chaleur latente dans des matériaux de construction courants et ouvrent de nouvelles voies au lissage des températures dans le bâtiment.

Photovoltaïque	Une installation photovoltaïque comprend plusieurs modules PV qui transforment la lumière solaire en électricité. En règle générale, le courant continu est transformé en courant alternatif de 230V. Les modules PV sont constitués de cellules solaires (souvent 36 ou 72 cellules en silicium cristallin) qui comprennent des matériaux semi-conducteurs à dopages différents.
PHPP	Passivhaus Projektierung Paket (ou Passive House Planning Package): procédé d'évaluation du Passivhaus-Institut Darmstadt, élaboré par M. Wolfgang Feist
Ponts thermiques	Au moment de la période de chauffage, les ponts thermiques se trouvent là où les températures intérieures de surface des éléments de construction baissent fortement et de façon localisée. Les ponts thermiques peuvent être dus à la géométrie d'un bâtiment, au choix des matériaux ou à la mauvaise exécution en cours de chantier. Le plus souvent, ils se situent au niveau des volets roulants, des tableaux de fenêtres, des niches pour radiateurs, à l'angle des plafonds, aux liaisons entre les éléments massifs (béton armé, maçonnerie), par exemple au raccord entre le mur et la dalle de balcon ou, entre le mur et la toiture et aux angles des murs extérieurs. Les ponts thermiques ne font pas qu'augmenter la consommation d'énergie de chauffage d'un bâtiment, ils exercent aussi un rôle négatif sur la sensation de confort intérieur et sur l'hygiène du logement. Ils sont souvent la cause de désordres liés à la condensation qui s'accompagne de moisissures.
Pouvoir calorifique	On entend par pouvoir calorifique l'énergie dégagée sous forme de chaleur. Il en existe deux types: le pouvoir calorifique inférieur (PCI) ou énergie résultant de la seule combustion et le pouvoir calorifique supérieur (PCS) ou énergie résultant de la combustion plus celle que la vapeur d'eau restitue en se condensant. Comme pour la combustion de toute source d'énergie fossile telle le gaz naturel ou le mazout, la transformation de l'énergie s'accompagne en effet de vapeur d'eau. Contrairement aux chaudières courantes à gaz ou au mazout, les chaudières à condensation mettent à profit l'énergie contenue dans la vapeur d'eau pour le chauffage; par rapport au PCI d'un combustible classique, le rendement peut alors dépasser les 100%.
Récupération de chaleur	Récupération de la chaleur contenue dans l'air extrait d'une installation de ventilation mécanique double flux pour chauffer l'air neuf grâce à un échangeur de chaleur (à plaques ou rotatif). Le rendement peut atteindre 90%.
Renouvellement d'air	La valeur n indique le taux de renouvellement de l'air contenu dans un volume pendant une heure.
Source d'énergie	Énergie sous sa forme matérielle. Par exemple: huile minérale, vapeur, électricité, essence automobile. Remarque: les sources d'énergie ne sont pas des énergies du point de vue physique, elles contiennent un potentiel d'énergie qui doit être libéré par une transformation en énergie thermique, chimique ou mécanique pour pouvoir satisfaire la demande de l'utilisateur en chaleur, électricité, lumière, etc.
Surface de référence énergétique	La surface de référence énergétique est la somme de toutes les surfaces en sous-sol et dans les différents étages qui nécessitent du chauffage ou de la climatisation; elle est calculée brute, c'est-à-dire en tenant compte des dimensions extérieures, y compris les murs extérieurs et les garde-corps.
Système à convection	Système de collecteurs d'air dans lequel le transport de chaleur est effectué par convection, donc par l'air.
Système hybride	Combinaison de systèmes énergétiques différents et complémentaires
Taux de couverture solaire	Part annuelle des besoins en énergie de chauffage ou en énergie utile pour l'eau chaude sanitaire couverte par les installations utilisant activement l'énergie solaire.
Taux d'utilisation	Rapport entre la dépense d'énergie utile et la consommation d'énergie finale utilisée pour la production, la distribution et le stockage de chaleur
Température ressentie	La température ressentie est due pour moitié à la température par les rayonnements et pour l'autre moitié à la température de l'air ambiant. Elle dépend de la sensation de confort d'une personne et ne peut être mesurée de façon directe. Les thermomètres globes indiquent aussi bien la chaleur radiante que la température pure de l'air; ils peuvent ainsi servir à mesurer la température ressentie. Les périodes de forte humidité (temps lourd), la vitesse de l'air (sensation de courant d'air) ainsi que les vêtements et l'activité des personnes jouent également un rôle déterminant.
Test Blower-Door	Méthode permettant d'évaluer l'étanchéité à l'air de l'enveloppe d'un bâtiment. L'appareil de mesure, généralement monté à la place de la porte d'entrée, crée dans les pièces une dépression de 50 pascals et mesure la variation de pression intérieure pendant plusieurs heures. Pour l'obtention du label Passivhaus, le débit de fuite maximal doit être inférieur à 0,6V/h pour une différence de pression de 50 pascals entre l'intérieur et l'extérieur de l'enveloppe ( $n_{50} \leq 0,6h^{-1}$ ).
Thermographie infrarouge	Représentation graphique des températures de surface, notamment utilisée pour faire apparaître les ponts thermiques
Thermique solaire	Transformation du rayonnement solaire direct ou indirect en chaleur
Ventilation nocturne	La ventilation naturelle nocturne est un concept de rafraîchissement qui consiste à tirer profit durant les mois d'été de l'air extérieur nocturne pour rafraîchir les éléments de construction à grande inertie et les utiliser le jour comme « accumulateur thermique ».

# Bibliographie

## Sur l'architecture en général

Foster, Sir Norman

Towards the Modern Vernacular, Detail, Munich 6/1993, p. 664 sq.

Givoni, Baruch

L'Homme, l'architecture et le climat, Paris 1978

Habermann, Karl J.

Zur Entwicklungsgeschichte des technischen Ausbaus, Detail, Munich 2/1995, p. 158 sq. (résumé français: Historique du développement de l'équipement technique, p. 229)

Hénard, Eugène

Les Villes de l'avenir, Paris 1910

Herzog, Thomas; Krippner, Roland; Lang, Werner

Construire des façades, Lausanne 2007

Le Corbusier

Vers une Architecture, Paris 1922

Vitruve

De l'Architecture, Paris 1969

## Sur l'architecture écologique

Daniels, Klaus

The Technology of Ecological Building, Bâle 1997

Dunster, Bill; Pringle, John

Michael Hopkins & Partners Research into Sustainable Architecture, Architectural Design, Vol 67, N° 1/2, Jan-Feb 1997, p. 26 sq.

Gauzin-Müller, Dominique

L'Architecture écologique, 29 exemples européens, Paris 2001

Gauzin-Müller, Dominique

25 Maisons écologiques, Paris 2005

Hawkes, Dean; Yannas, Simos; Hinsley, Hugo; Dunster, Bill

Sustainability, AA files, London 32/1996, p. 66 sq.

Hetzell, Jean

Bâtiments HQE et développement durable, guide pour les décideurs et les maîtres d'ouvrage, Afnor 2007

Lefevre, Pierre

Architectures durables, 50 réalisations environnementales en France et en Europe, Aix-en-Provence/Paris 2002

Steele, James

Architecture écologique, une histoire critique, Arles 2005

## Sur les principes bioclimatiques et l'éco-conception

Constructions publiques, architecture et « HQE », mission interministérielle pour la qualité des constructions publiques 2003

Gonzalo, R.E.; Gonzalo, G.E.

The Bioclimatic Design in the Traditional Architecture of North Argentine – Determining and Conditioning Factors, Porto 1988

Oliva, Jean-Pierre; Courgey, Samuel

La Conception bioclimatique, des maisons confortables et économies en neuf et en réhabilitation, Mens 2006

Oliva, Jean-Pierre

L'Isolation écologique, conception, matériaux, mise en œuvre, Mens 2001

Peuportier, Bruno

Éco-conception des bâtiments, Paris 2003

Qualité environnementale des bâtiments, manuel à l'usage de la maîtrise d'ouvrage et des acteurs du bâtiment, Angers 2002

Salomon, Thierry; Aubert, Claude

Fraicheur sans clim', le guide des alternatives écologiques, Mens 2004

Wright, David

Manuel d'architecture naturelle, Marseille 2004

## Sur la construction en bois

Gauzin-Müller, Dominique

Construire avec le bois, le matériau et ses produits dérivés, conception des ouvrages en bois, réalisations exemplaires, aspects réglementaires, Paris 1999

Gauzin-Müller, Dominique

25 Maisons en bois, Paris 2003

Herzog, Thomas; Natterer, Julius; Schweitzer, Roland; Volz, Michael; Winter, Wolfgang  
Construire en bois, Lausanne 2005

## Sur la technique et le génie climatique

Béranger, Bruno

Les Pompes à chaleur, Paris 2006

Bobran-Wittfoht, Ingrid; Schlauch, Dirk

Dämmstoffe für den baulichen Wärmeschutz – (kleiner für alle Fälle, Detail, München 7/2001, p. 1290 sq. (résumé français: Les Isolants pour la protection thermique du bâtiment – (aucun pour toutes les situations, p. 15 sq.)

Collectif

Guide ventilation des bâtiments, Paris 2003

Farkh, Salem; Bel, Thierry

Les Ponts thermiques dans le bâtiment, mieux les connaître pour mieux les traiter, Paris 2006

Jacquard, Patrick; Sandre, Serge

La Pratique de la climatisation, Paris 2006

Lassalle, François

Végétalisation extensive des terrasses et toitures, Paris 2006

Liébard, Alain; De Herde, André

Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques, concevoir, édifier et aménager avec le développement durable (avec 1 Cédérom), Paris 2006

Peuser, Felix A.; Remmers, Karl-Heinz; Schnauss, Martin

Installations solaires thermiques, conception et mise en œuvre, Paris 2005

Recknagel, Hermann; Sprenger, Eberhard; Schramek, Ernst-Rudolf; Caradec, Chantal; Bodson, Adélaïde  
Génie climatique, Paris 2007

Schwab, Hubert; Heinemann, Ulrich; Fricke, Jochen

Vakuumisolierpaneelle – ein hocheffizientes Dämmssystem der Zukunft, Detail, Munich 7/2001, p. 1301 sq. (résumé français: Les Panneaux isolants sous vide, un système d'une grande efficacité pour le futur, p. 16)

Thornton, J.A.; Deavy, C.P.; Mitchell, D.M.

The New Parliamentary Building – Portcullis House, The Structural Engineer, Vol 78, N° 18, Sept. 2000, p. 17 sq.

# Institutions – Adresses utiles

- Ademe – Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie  
[www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)
- ADPSR – Architects, Designers and Planners for Social Responsibility  
[information@adpsr.org](mailto:information@adpsr.org)  
[www.adpsr.org](http://www.adpsr.org)
- AECB – Association for Environment Conscious Building  
[admin@aecb.net](mailto:admin@aecb.net)  
[www.aecb.net](http://www.aecb.net)
- AICVF – Association des ingénieurs en climatique, ventilation et froid  
[secretariat@aicvf.org](mailto:secretariat@aicvf.org)  
[www.aicvf.org](http://www.aicvf.org)
- Association HQE (haute qualité environnementale, France)  
[www.assohqe.org](http://www.assohqe.org)
- CIDB – Centre d'information et de documentation sur le bruit  
[www.cidb.org](http://www.cidb.org)
- CLER – Comité de liaison énergies renouvelables  
[info@cler.org](mailto:info@cler.org)  
[www.cler.org](http://www.cler.org)
- CNDB – Centre national pour le développement du bois  
Internet: [www.cndb.org](http://www.cndb.org)
- CORDIS – Community Research & Development Information Service  
[press@cordis.lu](mailto:press@cordis.lu)  
[www.cordis.lu](http://www.cordis.lu)
- CSTB – Centre scientifique et technique du bâtiment  
[www.cstb.fr](http://www.cstb.fr)
- CTBA – Centre technique du bois et de l'ameublement  
[courrier@ctba.fr](mailto:courrier@ctba.fr)  
[www.ctba.fr](http://www.ctba.fr)
- Deutsche Energie-Agentur GmbH (DENA)  
(Agence allemande pour l'énergie)  
[info@deutsche-energie-agentur.de](mailto:info@deutsche-energie-agentur.de)  
[www.deutsche-energie-agentur.de](http://www.deutsche-energie-agentur.de)
- École d'architecture de La Villette  
Formation continue à la HQE  
[directeur@paris-lavillette.archi.fr](mailto:directeur@paris-lavillette.archi.fr)  
[www.paris-lavillette.archi.fr](http://www.paris-lavillette.archi.fr)
- Effinergie  
(Collectif qui s'inspire du label Minergie pour adapter la basse énergie aux spécificités françaises)  
[bonduau@effinergie.org](mailto:bonduau@effinergie.org)  
[www.effinergie.org](http://www.effinergie.org)
- Energieverwertungsagentur (E.V.A.)  
(Agence de valorisation de l'énergie)  
[eva@eva.ac.at](mailto:eva@eva.ac.at)  
[www.eva.ac.at](http://www.eva.ac.at)
- ENSTIB – École nationale supérieure des technologies et industries du bois  
[enstib@enstib.uhp-nancy.fr](mailto:enstib@enstib.uhp-nancy.fr)  
[www.enstib.uhp-nancy.fr](http://www.enstib.uhp-nancy.fr)
- ELNI – Environmental Law Network International  
[info@oeko.de](mailto:info@oeko.de)  
[www.oeko.de](http://www.oeko.de)
- European Union Eco-Label  
[ecolabel@ec.europa.eu](mailto:ecolabel@ec.europa.eu)  
<http://europa.eu.int/ecolabel>  
[http://eco-label.com/french \(version française\)](http://eco-label.com/french)
- EUROSOLAR e.V.  
[info@eurosolair.org](mailto:info@eurosolair.org)  
[www.eurosolair.org](http://www.eurosolair.org)
- FNAU – Fédération nationale des agences d'urbanisme  
[www.fnau.org](http://www.fnau.org)
- Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE  
(Institut Fraunhofer pour les systèmes à énergie solaire)  
[info@ise.fhg.de](mailto:info@ise.fhg.de)  
[www.ise.fhg.de](http://www.ise.fhg.de)
- Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung ISI  
(Institut Fraunhofer de systémique et de recherche sur l'innovation)  
[isi@fraunhofer.de](mailto:isi@fraunhofer.de)  
[www.isi.fraunhofer.de](http://www.isi.fraunhofer.de)
- Freiburg Futour  
(Visites du Fribourg écologique)  
[info@freiburg-futour.de](mailto:info@freiburg-futour.de)  
[www.freiburg-futour.de](http://www.freiburg-futour.de)
- Gepa – Groupe pour la formation permanente des architectes  
[info@groupegepa.com](mailto:info@groupegepa.com)  
[www.formation-architecte.com](http://www.formation-architecte.com)
- Ecobau – Durabilité et constructions publiques  
[info@eco-bau.ch](mailto:info@eco-bau.ch)  
[www.eco-bau.ch](http://www.eco-bau.ch)
- Green Building Professionals Directory  
[www.greenbuilder.com](http://www.greenbuilder.com)
- IFEN – Institut français de l'environnement  
[ifen@ifen.ecologie.gouv.fr](mailto:ifen@ifen.ecologie.gouv.fr)  
[www.ifen.fr](http://www.ifen.fr)
- Institut für Umwelttechnik Institut für Energie  
(Institut pour la protection de l'environnement – Institut pour l'énergie)  
[ifuinfo@fhbb.ch](mailto:ifuinfo@fhbb.ch)  
[www.fhbb.ch/umwelt](http://www.fhbb.ch/umwelt)
- International Solar Energy Society e.V. (ISES)  
[hq@ises.org](mailto:hq@ises.org)  
[www.ises.org](http://www.ises.org), [www.wire.ises.org](http://www.wire.ises.org)  
(World-wide Information System for Renewable Energy)
- Internationales Wirtschaftsforum Regenerative Energien (IWR)  
(Forum économique international des énergies renouvelables)  
[info@iwr.de](mailto:info@iwr.de)  
[www.iwr.de](http://www.iwr.de)
- Istituto Nazionale di Urbanistica  
(Institut national d'urbanisme)  
[segreteria@inu.it](mailto:segreteria@inu.it)  
[www.inu.it](http://www.inu.it)
- Minergie (label suisse)  
[info@minergie.ch](mailto:info@minergie.ch)  
[www.minergie.ch](http://www.minergie.ch)
- Ministère de l'Énergie, du Développement et de l'Aménagement durables  
[www.environnement.gouv.fr](http://www.environnement.gouv.fr)
- Observ'ER – Observatoire des énergies renouvelables  
[www.observ-er.org](http://www.observ-er.org)
- Passive-On Project  
Projet de recherche et de diffusion d'information financé par la Commission européenne, sous l'égide du programme Énergie Intelligente pour l'Europe (SAVE)  
[www.passive-on.org](http://www.passive-on.org)
- Passivhaus Institut Deutschland  
(Institut de l'habitat passif de Darmstadt, Allemagne)  
[mail@passiv.de](mailto:mail@passiv.de)  
[www.passiv.de](http://www.passiv.de)
- Roy Prince, Architect Sustainable ABC  
[royprince@sustainableabc.com](mailto:royprince@sustainableabc.com)  
[www.sustainableabc.com](http://www.sustainableabc.com)
- Programme Prioritaire Environnement Suisse (SPP Environnement)  
[info@sppe.ch](mailto:info@sppe.ch)  
[www.sppe.ch](http://www.sppe.ch)
- United Nations Environment Programme (UNEP)  
Regional Office for Europe  
[roe@unep.ch](mailto:roe@unep.ch)  
[www.unep.ch/roe](http://www.unep.ch/roe)
- Ville de Rennes  
Direction de l'architecture, du foncier et de l'urbanisme  
71, rue Dupont-des-Loges  
Hôtel de Ville  
F-35031 Rennes  
Tél.: + 33.2.99.28.57.18  
Fax: + 33.2.99.28.58.51
- Zentrum für Energie und Nachhaltigkeit im Bauwesen (ZEN)  
(Centre pour l'énergie et la durabilité dans la construction)  
c/o EMPA Dübendorf  
[zen@empa.ch](mailto:zen@empa.ch)  
[www.empa.ch](http://www.empa.ch)

## Index des noms

- A2-Architekten 28, 206, 207  
A-Z Architekten 28, 43, 68 sq., 94, 112  
Achleitner, Friedrich 100  
ADP, Ramseier, Jordi, Angst, Hofmann 100  
Althaus, D. 17  
Arche Nova 6, 7, 17, 20, 101  
Architektur Contor Müller, Schlüter 103, 115, 116 sq., 202  
Arup Associates 111, 115, 188 sq.  
Atelier 5 24, 25, 29, 35, 90-92  
Aude, Lundgaard 18  
Bachelard, Gaston 39  
Baer, Steve 17  
Banham, Reyner 13, 14  
Beecher, Catherine 14  
Behrens, Peter 109  
Bollnow, O. 39, 97  
Brancusi, Constantin 89  
Carrier, Willis H. 14  
Carter, Brian 15  
Cerdà, Ildefonso 13  
Cohen, Jean-Louis 13  
Demmel + Mühlbauer 39, 97  
De Rosa, C. 203  
Dirtheuer, F. 101  
Disch, Rolf 106  
Duiker, Johannes 15  
Dunster, Bill 22  
Eissler, Hoffmann, Gumpf 18, 19  
Faller, P. 91  
Faælestegnestuen 19, 37  
Faskel, Nicolic 20  
Fathy, Hassan 10, 11  
Fink + Jocher 21  
Foster, Sir Norman 5, 88, 108  
Fuller, Buckminster 5, 15, 16  
Gabriel, I. 17  
Gaudi, Antoni, 13  
Gerkan Marg + Partner 20, 103  
Gonzalo, Roberto 18  
Gullichsen, Christian 20, 22, 23  
H2R Architekten, Hüther, Hebensperger-Hüther, Röttig 35, 43, 56 sq., 100, 208  
Hascher + Jehle 31  
Heinle Wischer + Partner 31  
Hénard, Eugène 5, 11, 12  
Henn Architekten 108, 111, 115, 140 sq.  
Herzog, Th. mit Bonfig, P. 21, 98  
Herzog + Partner 110, 115, 146 sq.  
Hopkins Architects 80, 115, 152 sq.  
Hübner, Peter 17  
Jahn, Axel 20  
Jourda, Perraudin 109  
Juen 31, 98  
Kaiser, Schmidtges, Minke 18, 19  
Kaltenbrunner, Robert 5, 20  
Katzke, Thomas 15  
Klipper + Partner 20  
Kovatsch, M. 101  
Krapmeier, Drössler 205  
Krusche, Per 6, 16, 17, 20, 101  
Küsgen, Horst 18  
Lackenbauer, Andreas 206 sq.  
Le Corbusier 14, 15  
Lenz + Kaufmann 99, 111, 115, 122 sq., 206, 207, 208  
Lischer Architekten 34, 43, 44 sq., 89  
Lohrer, Knut 33  
Loudon + Habeler 110, 115, 170 sq.  
Medium, Jentz, Popp, Wiesner 102  
Metron 36, 38, 50 sq., 90-93, 99, 209  
Mittersteiner, Larsen 19  
Moewes, Günther 101  
Moneo, Rafael 33, 114  
Morgan, Emsly 15  
Muelas, Mario 34, 35  
Muszynska 98  
Mutheisius 35, 36  
Nest 27, 28, 206, 207  
Nickl Architekten 118  
Oreszyn, T. 98  
Oud, J.P. 28  
plus+ bauplanung Hübner 112, 115, 182 sq.  
Pollok + Gonzalo 36, 104, 105, 118, 204  
Pool, Martin 43, 62 sq., 118, 205, 207  
PPP, Müller Schlüter 5, 115, 116 sq.  
Pysal, Jensen, Stahrenberg 20  
Rasch + Partner 30  
Raupach + Schurk 34, 35  
Reinberg, G.W. 115, 158 sq., 209  
Rietveld, Gerrit 108  
Rogers, Richard 5  
RPB Renzo Piano Building Workshop 22, 114, 115, 194 sq.  
Roeburn, Ben 14  
Roos Architekten 95  
Rudofsky Bernhard 22  
SAMA arq. 37, 105, 109  
Schaub, Martin 6, 17  
Scheitlin Syfrig + Partner 107, 115, 128 sq.  
Schiedhelm, Axelrad 20  
Schindler, Bruno 97  
Schreck, Hillmann, Nagel mit Kempchen, Güldenberg 20  
Schröder + Widmann 28, 37, 90-92, 98  
Schuster Architekten 107, 115, 134 sq., 204  
Sommer, Klaus 20  
Steffan, Claus 6, 17  
Stender, Söldner, Gonzalo 94  
Tobey, R. 95  
tr. architekten Rössing + Tilicke 39  
Sulzer, Peter 17  
Tusquets, O. 102  
Twinn, Chris 22  
Unterrainer, W. 115, 164 sq.  
Vandkunsten 21, 30, 95, 96, 97  
Vitruve 8  
Walbrunn Grotz Vallentin Loibl 115, 176 sq.  
Warburton, Peter 15  
Warne, Bengt 17  
Weig-Krusche, Maria 6, 17  
Weizsäcker, K.F. von 205  
Wright, Frank Lloyd 13, 14  
Yanez, Guillermo 43, 74 sq.

## Index des sites

- Affoltern (CH) 38, 43, 50, 93, 99, 209  
Al-Kharga, Égypte 10  
Altenburg, district de Neuwied (D) 11  
Altötting (D) 39  
Amaicha, Argentine 96  
Amsterdam 15, 108  
Arnol, île de Lewis (GB) 8, 9  
Aspen (USA) 5  
Athènes 22  
Aufkirchen (D) 115, 176  
Barcelone 12, 13  
Beddington (GB) 22  
Berlin 15, 20, 29  
Bilbao 40  
Coburg (D) 21, 35  
Copenhague 19  
Duisbourg (D) 107, 115, 204  
Eching près de Munich 95  
Ensanche, quartier de Barcelone 12  
Francfort 88, 108  
Fribourg-en-Brisgau 34, 106  
Fußbach (A) 19, 31, 98  
Gelsenkirchen (D) 112, 115, 182  
Gilching près de Munich 104  
Greve, Danemark 18, 19  
Guadix, Espagne 8, 10  
Halen (CH) 29, 90-92  
Hambourg 102, 103  
Hanovre 29, 30, 31  
Hénan, Chine 10  
Herfølge, Danemark 40, 97  
Humanuaca, Argentine 10  
Hyderabad (Inde) 22  
Jona (CH) 95  
Kommern (D) 11  
Kriens (CH) 34, 35, 43, 44  
Kyoto 22  
La Valette, Malte 13  
Ladakh, Népal 111, 115, 188  
Landstuhl (D) 8, 30  
Le Caire 96  
Leverkusen (D) 39  
Linz (A) 09  
Lochham près de Munich 105, 118, 204  
Londres 115, 152  
Lyon 109  
Madrid 33, 34, 43, 74, 99, 102  
Mendoza, Argentine 203  
Mérida, Espagne 114  
Montréal 16  
Munich 20, 27, 28, 34, 43, 56, 62, 101, 108, 111, 118, 115, 140, 205, 207  
Münster (D) 36  
Niederwangen (CH) 35  
Nottingham (GB) 43, 80  
Osuna, Espagne 37  
Paris 31, 40  
Passau (D) 28, 37, 90, 98  
Pichling (A) 110, 115, 170  
Planegg près de Munich 97  
Prague 96  
Puchheim près de Munich 101  
Pullach près de Munich 42  
Riehen (CH) 22, 114, 115, 194  
Rio de Janeiro 22  
Rødvore, Danemark 37  
Röthenbach a.d. Pegnitz (D) 36, 90, 91  
Rotterdam 28  
Salzbourg 42  
Schwarzach (A) 99, 111, 115, 122  
Séville 32, 105, 109  
Skejby, Danemark 21  
Spiel, district de Düren (D) 11  
Steyr (A) 15, 164  
Stuttgart 17, 18, 19, 20, 22, 23, 29, 33, 98  
Sursee (CH) 107, 115, 128  
Tchernobyl 22  
Thalmatt (CH) 24, 25, 29  
Titting (D) 118  
Tittmoning (D) 6, 7  
Veitshöchheim (D) 96  
Wallasay (GB) 15  
Weidling (A) 115, 158, 209  
Wiesbaden 28, 43, 68, 110, 112, 115, 146  
Windberg (D) 21, 98  
Wolfurt (A) 205  
Wuppertal (D) 5, 103, 115, 116, 134  
Zurich 100

# Index des termes techniques

- accumulateur thermique à chaleur latente 204  
activation du noyau de béton 112, 143, 161  
adobe, terre glaise 10, 11  
aménagement des espaces extérieurs 38  
approvisionnement en énergie 41  
bande, rangée (immeubles, maisons en) 29, 39, 50  
barre (maisons en bande) orientée au sud 34, 36, 91, 93  
barre (maisons en bande) orientée est-ouest 36, 94  
basse énergie (ou basse consommation d'énergie) 20, 59, 64, 84, 88, 95, 116, 170  
bâtiment d'activités 107  
bâtiment scolaire 113  
besoins en énergie 15, 95, 101  
bilan énergétique 90, 99, 100, 106, 107  
biomasse 208  
Blackhouse (Maison Noire) 8, 9  
bureau combiné 140  
carton nid-d'abeilles 203  
centre-ville (habitat en) 30, 56  
chaudière à condensation 67, 124, 180, 207  
chauffage (système de) 106, 210  
chauffage d'éléments de construction 142  
chauffage par air 210  
chauffage urbain 12, 59  
cité-jardin 28  
climat (architecture adaptée au) 30, 88, 107, 114  
cogénérateur (centrale de cogénération) 41, 42, 69, 113, 139, 140, 146, 180, 207-208  
cogénération 208  
collecteur d'air 18, 20  
colombages (maison à) 11  
combustibles 202-208  
compacité 31, 33, 64, 90, 93, 98, 107, 179  
complexe isolant 105  
comportement des usagers 145  
concept énergétique global 140  
conception du plan 90, 93  
concepts de ventilation 206  
conditions pour la réhabilitation 102  
confort intérieur 10  
construction autochtone 8  
construction de logements 89  
construction traditionnelle 8, 11  
construction vernaculaire 8, 22  
coursière 37, 58  
culturels (bâtiments) 113  
cycle de vie d'un matériau 17  
définition des zones 44, 108  
densification 28, 101, 103  
densité de construction 34, 50, 67, 113  
déperditions caloriques par la ventilation 106, 108  
déperditions thermiques par transmission 31, 64, 92, 93, 106, 107, 186, 202  
desserte 35, 37  
desserte par escalier extérieur 37  
diagramme solaire (gnomon) 40  
disposition des bâtiments 34  
durée de vie 8, 22  
eau grise 153  
eaux de pluie (collecte des) 60, 149, 160, 165, 182  
échangeur de chaleur 69, 165, 207  
échangeur de chaleur rotatif 153, 172, 180, 207  
éclairage (éclairement) artificiel 110, 153  
éclairage naturel 107, 110, 140, 202  
écologie 16, 28  
économie d'énergie 88, 90, 100, 106, 111, 113,  
énergie primaire 103  
énergie renouvelable 26, 41, 106, 136, 152  
éolienne 11, 166  
équipement public 113  
espace de transition 98  
étanchéité de l'enveloppe du bâtiment 106, 108  
façade double peau 13, 108, 140, 191  
façade vitrée 15, 108  
fenêtre 96  
fenêtre à caisson 104, 108  
flexibilité des bâtiments d'activités 112, 122  
flexibilité des logements 91, 122  
fonctions mixtes (en urbanisme) 112  
géothermie 42  
géothermique (capteur) 69, 112, 122, 124, 160, 165, 170, 185  
gestion de l'énergie 30  
groupe frigorifique 209  
guidage de la lumière 149  
guidage de la lumière naturelle 110, 111, 150  
hauteur du bâtiment 92  
immeuble collectif 56  
immeuble d'habitation à plusieurs niveaux 18, 39  
installations de ventilation 206  
isolant (matériau) 204  
isolation 104  
isolation (qualité d') 31  
isolation sous vide (panneau d') 64, 99, 118, 203  
isolation translucide 21, 203  
jardin d'hiver 20  
lumière naturelle (part, qualité, quotient de) 18, 68, 110, 153, 182  
machine à habiter 14  
maison passive (fenêtre de) 120, 169, 179  
maison plurifamiliale 19  
masse d'inertie 18  
masse d'inertie 60, 71, 105, 109, 112, 118, 127, 136, 153, 204, 209  
mitage du paysage 22, 26, 28  
monitoring 118  
monument historique 114  
optimisation énergétique 88, 101, 198  
opus caementicium 8  
orientation d'un bâtiment 32, 92  
participation des usagers 17, 56  
passif (standard, label) 22, 32, 44, 71, 88, 98, 116, 136, 164, 176, 206  
PCM, matériaux à changement de phase 204  
photovoltaïque 42, 67, 84, 106, 139, 166, 208  
pile à combustible 42, 207  
plafond froid 209  
plan d'urbanisme 26  
pompe à chaleur 53, 130, 166, 209  
production d'énergie 88, 90  
proportions d'une pièce 90  
proportions des bâtiments 33, 92  
protection contre l'éblouissement 110, 143, 148  
protection solaire (pare-soleil) 109, 114, 143, 158, 196, 204  
radiateur 210  
rafraîchissement d'éléments de construction 136, 142  
rafraîchissement naturel 112, 153, 209  
rayonnement solaire diffus 94  
rayonnement solaire direct 94, 110  
récupération de chaleur 18, 44, 67, 69, 71, 84, 106, 120, 124, 136, 160, 166, 170, 179, 206  
recyclable (composant) 8  
réhabilitation énergétiquement efficace 28, 101, 114  
réparation urbaine 62  
réservoir d'eau de pluie 139  
séparation thermique 98  
simulation chiffrée 142, 160  
simulation de lumière naturelle 186  
simulation informatique 40, 161, 188, 197  
solaire (capteur) 20, 29, 55, 59, 77, 106, 166, 172  
solaire (cheminée) 76  
solaire (façade) 95, 134, 1370  
solaire (rayonnement) 32  
stationnement, parking 37, 50  
stockage 204  
structure bois (maisons en) 44, 50, 128  
surchauffe (risque de) 93, 95, 109, 204  
surfacique (chauffage) 210  
tampon (zone, espace) 31, 98, 108  
tampon thermique 13, 19, 20, 149, 194, 198  
technologie de maison passive 15, 44,  
test Blower-Door 47, 132, 166-169, 180, 202  
thermique solaire (installation) 53, 60, 70, 72, 77, 127, 160, 208  
thermographie 132  
topographie 32  
tour de ventilation 12, 22, 76, 152, 185  
trigénération 146  
trogloïde (habitation) 8, 10  
Trombe (mur) 188-191, 203  
type de bâtiment, typologie 33, 90  
vecteur d'énergie 207  
végétalisée (toiture) 18, 55, 60, 84, 180  
végétation 32  
vent 32  
ventilation 105, 112, 202, 206  
ventilation mécanique contrôlée (VMC) 18, 44, 71, 106, 108, 113, 119, 122, 130, 165, 179  
ventilation naturelle 74, 84, 108, 140, 147, 185, 191, 202  
ventilation nocturne 186, 205  
vêrande 13, 18, 19, 98, 108  
zones (définition de) 134, 179  
zones de ventilation 206

## Intervenants

<b>Lotissement de maisons jumelées à Kriens,</b> Suisse Maîtrise d'œuvre: Luzerner Pensionskasse	<b>Campus universitaire à Nottingham,</b> Grande-Bretagne Maîtrise d'œuvre: University Estates Office
Maîtrise d'œuvre: Lischer Partner Architekten Planer AG, Lucerne	Maîtrise d'œuvre: Hopkins Architects, London
Équipement technique: BW Haustechnik AG, Hünenberg	Équipement technique: Arup
Structure bois: Jung-Pirmin Ingenieure für Holzbau GmbH, Rans	Structure: Arup
<b>Maisons en bande à Affoltern,</b> Suisse Maîtrise d'œuvre: Kurt Schneebli, Affoltern	Aménagement du paysage Battle McCarthy
Maîtrise d'œuvre : Metron Architekturbüro AG, Brugg	<b>Résidence universitaire à Wuppertal,</b> Allemagne Maîtrise d'œuvre: Hochschul-Sozialwerk Wuppertal
Équipement technique: Nanotech AG, Ennetbaden W+S AG, Rohr, Bösch AG, Aarau	Maîtrise d'œuvre : 1 <sup>re</sup> tranche: PPP en collaboration avec Christian Schlüter et Michael Müller, Düsseldorf, Wuppertal 2 <sup>e</sup> tranche: Architektur Contor Müller Schlüter, Wuppertal
Structure: F. Steinmann, Hausen	Équipement technique: Ingenierbüro Landwehr GmbH, Dortmund
<b>Immeuble d'habitation à Munich,</b> Allemagne Maîtrise d'œuvre: WOGENO Munich eG, Munich	Structure: Carsten Tichelmann in PTT, Darmstadt Rüdiger Klumpp, Weikersheim (façade)
Maîtrise d'œuvre: H2R Architekten BDA Hüther, Hebensperger-Hüther, Röttig, Munich	<b>Immeuble d'habitation et de bureaux à Schwarzach,</b> Autriche Maîtrise d'œuvre: Miterrichtergemeinschaft Kaufmann Lenz Gmeiner, Schwarzach + Revital GmbH, Dornbirn
Équipement technique: ITEM, Richard Kramer, Munich	Maîtrise d'œuvre: Christian Lenz, Hermann Kaufmann
Structure: Dr. Ing. Gernot Pittioni, Weilheim	Équipement technique: IBN Ingenierbüro Naßwetter, Batschuns
<b>Immeuble de bureaux et d'habitation à Munich,</b> Allemagne Maîtrise d'œuvre: Bauherren gemeinschaft Meinhold und Laufer	Structure: M+G Ingenieure, Feldkirch Statikbüro Galehr, Feldkirch
Maîtrise d'œuvre: Martin Pool, Munich	<b>Immeuble de bureaux et d'habitation à Sursee,</b> Suisse Maîtrise d'œuvre: St. Georg Immobilien AG, Sursee
Équipement technique: Ingenierbüro Lackenbauer, Traunstein	Maîtrise d'œuvre : Scheitlin - Syfrig + Partner, Lucerne
Génie électrique: Christian Gibis, Munich	Équipement technique: Bucher + Dillier AG, Lucerne
Structure: Georg Weinzierl, Schwarzach	Physique du bâtiment: Ragonesi, Strobel & Partner, Emmenbrücke
<b>Immeuble de bureaux et d'habitation à Wiesbaden,</b> Allemagne Maîtrise d'œuvre: A-Z Architekten	Structure bois: Makiol + Wiederkehr, Beinwil
Maîtrise d'œuvre: Altmann-Zimmer Architekten BDA, Wiesbaden	<b>Complexe de bureaux à Duisbourg,</b> Allemagne Maîtrise d'œuvre: Bau- und Liegenschaftsbetrieb NRW
Équipement technique: Holger Zimmer, Joachim Altmann	Maîtrise d'œuvre: Schuster Architekten, Düsseldorf
Structure: Schmitt & Thielmann, Wiesbaden	Concept énergétique: Stahl, Büro für Sonnenenergie, Fribourg
<b>Immeuble d'habitation à Madrid,</b> Espagne Maîtrise d'œuvre: Empresa Municipal de la Vivienda (Madrid)	Équipement technique: Ingenieurgesellschaft Kruck mbH, Mühlheim a.d. Ruhr
Maîtrise d'œuvre: Guillermo Yañez, Lydia Yañez Lopez del Amo, Madrid	Structure: Kunkel + Partner, Düsseldorf
Équipement technique: Transformadora de Gas S.A.; ROEMA Instalaciones SL. Monedero Instalaciones y Servicios	Jesús Chomón Ingeniero, E.T.E.S.A.
Structure: Jesús Chomón Ingeniero, E.T.E.S.A.	

**Immeuble de bureaux à Munich,  
Allemagne**

Maîtrise d'ouvrage:  
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung e.V., Munich

Maîtrise d'œuvre :  
Henn Architekten, Munich

Concept énergétique:  
Fraunhoferinstitut für solare Energiesysteme ISE,  
Fribourg

Équipement technique:  
Kuehn Bauer Partner, Halbergmoos

Façades:  
Hussak Ingenieurgesellschaft, Lauingen

Structure:  
Sailer Stepan und Partner, Munich

**Immeuble de bureaux à Wiesbaden,  
Allemagne**

Maîtrise d'ouvrage:  
Zusatzversorgungskasse des Baugewerbes VVaG,  
Wiesbaden

Maîtrise d'œuvre:  
Thomas Herzog und Partner, Munich

Concept énergétique:  
Kaiser Consult, Prof.Dr.Ing. Oesterle, DS-Plan,  
Prof.Dr.Ing. Hausladen

Équipement technique:  
Zibell, Willner & Partner,  
Ingenieurbüro Hausladen

Éclairage:  
Bartenbach Lichtlabor

Structure:  
Sailer, Stepan & Partner, Munich

**Bâtiment du Parlement à Londres,  
Grande-Bretagne**

Maîtrise d'ouvrage:  
The United Kingdom Parliament,  
House of Commons Commission

Maîtrise d'œuvre:  
Hopkins Architects, Londres

Équipement technique:  
Arup

Façades:  
Arup

Structure:  
Arup

**Bureaux et ateliers à Weidling,  
Autriche**

Maîtrise d'ouvrage:  
Firma Blotop, Weidling

Maîtrise d'œuvre:  
Georg W. Reinberg, Vienne

Équipement technique:  
BPS Engineering, Vienne

Simulation et concept énergétique:  
Patrick Jung, Cologne

Physique du bâtiment:  
Nikolaus Bruck, Vienne

**Immeuble d'activités à Steyr,  
Autriche**

Maîtrise d'ouvrage:  
Schloßgängl Immobilien GmbH, Steyr

Maîtrise d'œuvre:  
Walter Unterrainer Atelier für Architektur,  
Feldkirch

Équipement technique:  
E-Plus, Egg: Schloßgängl Energiesysteme, Steyr

Structure:  
Merz-Kaufmann, Dornbirn

**École de Pichling,  
Autriche**

Maîtrise d'ouvrage:  
Municipalité de Linz

Maîtrise d'œuvre:  
Architekten Loudon & Habeler, Vienne

Équipement technique:  
Altherm Engineering, Baden

Structure:  
Anton Harrer, Krems/Vienne

**École à Aufkirchen,  
Allemagne**

Maîtrise d'ouvrage:  
Montessoriverein Erding e.V., Erding

Maîtrise d'œuvre:  
Walbrunn Grotz Vallentin Loibl, Bockhorn

Équipement technique:  
Ingenieurbüro Lackenbauer, Traunstein

Structure:  
G. Jochum H. Kutsch, Alling

**Collège à Gelsenkirchen,  
Allemagne**

Maîtrise d'ouvrage:  
Evangelische Schule in Westfalen e.V.

Maîtrise d'œuvre:  
plus+ Bauplanung GmbH  
Hübner-Forster-Hübner, Neckartenzlingen

Climatisation:  
Transsolar Energietechnik, Stuttgart

Équipement technique:  
Inco Ingenieurbüro, Aix-la-Chapelle

Physique du bâtiment:  
GN Bauphysik, Stuttgart

Structure:  
Weischede und Partner, Stuttgart

**Établissement scolaire à Ladakh,  
Népal**

Maîtrise d'ouvrage:  
Drukpa Trust

Maîtrise d'œuvre:  
Arup Associates, Londres

Équipement technique:  
Arup

**Musée d'art à Riehen,  
Suisse**

Maîtrise d'ouvrage:  
Fondation Beyeler, Riehen

Maîtrise d'œuvre:  
Renzo Piano Building Workshop, Paris/Gênes

Équipement technique:  
Arup  
Jakob Forrer AG, Buchrain (HKL)  
Bogenschütz AG (S)

Éclairage naturel:  
Arup

Structure:  
Arup

# Crédits iconographiques

- Artur/Thomas Riehle  
pages 4, 103 en haut, 116, 118 haut gauche, 119 (2), 121
- Arup  
pages 84 gauche, 111 milieu, 188, 189, 191, 192, 193
- Atelier 5  
pages 24, 29, 90 haut droit
- Baer, Steve  
page 17 haut droit (2)
- Berendt, Guenter  
page 56
- Bonfig, Peter  
pages 110 en haut (2), 146, 148, 151
- Bräuning Niggi  
page 199
- Carrier  
page 14 haut gauche
- Carter, Brian  
page 15 bas
- Davies, Richard  
pages 153, 154, 155, 157
- Denancé, Michel  
page 114 haut droit
- Dix, Thomas  
pages 114 gauche, 196-197, 198
- Drexel, Thomas  
pages 176, 179 en haut (2), 181
- Elsner, Gert  
page 23
- Faller, Peter  
page 91 haut droit
- Fink + Jocher  
page 21 bas
- Gonzalo, Roberto  
pages 10 (3), 17 bas droit, 18 en haut + milieu, 19 (3), 21 en haut (2), 27 haut droit, 28 en haut (3), 30 (4), 31 (3), 32 (3), 33 (3), 34 gauche (3), 36 haut droit (2), 37 en haut + bas (2), 39 bas gauche, 40 (3), 41 (3), 42 bas gauche + haut droit, 88, 89 en haut, 90 gauche (2), 91 haut gauche + bas droit, 92 (2), 93 haut gauche, 94 en haut, 95 en haut + milieu, 96 (4), 97 (4), 98 (4), 99 en haut + bas, 100 gauche + milieu, 101 (3), 102 (3), 103 bas, 104 (3), 105 (4), 106 (2), 108 gauche + milieu (3), 109 (3), 113 bas droit, 114 bas, 202 haut gauche, 203 (3), 206 bas gauche (2), 207 haut gauche + bas droit, 209 bas droit, 210 bas gauche
- H2R Hüther Hebensperger-Hüther Röttig  
page 100 bas droit
- Habermann, Karl J.  
pages 6, 9 en haut, 11 (3), 13 (3), 16 en haut, 20 (3), 65 en haut, 127 bas droit, 131 bas (2), 140, 145 gauche, 179 bas droit, 194, 197 bas droit, 200, 206 haut droit, 208 haut droit
- Hamilton Knight, Martine  
pages 80-81, 82, 86
- Hasit  
page 205 haut gauche
- Heinrich, Michael  
pages 63, 66-67 en haut
- Hempel, Jörg  
pages 28 bas, 68, 70, 72, 73, 112 haut droit
- Hübner, Peter  
page 112 bas gauche (2)
- ISE Freiburg  
pages 142 en haut (2), 145 milieu gauche, 205 haut droit
- Jarisch + Myrzik  
pages 108 haut droit, 111 en haut, 142, 143, 145 droit
- Klomfar, Bruno  
pages 110 bas (2), 170, 171, 173, 174, 175
- Krapmeier, Helmut  
page 205 milieu gauche
- Krusche, Per W.  
pages 16 milieu + bas, 17 milieu droit
- Lackenbauer, Andreas  
pages 207 haut droit, 210 haut droit
- Lundgaard, Boje  
page 18 bas
- Mair, Walter  
pages 107 haut gauche, 129, 131 droit (3), 133
- Martinez, Ignacio  
pages 99 milieu, 111 bas, 123, 124 (2), 127 haut gauche + haut droit, 211
- MRG Vierthaler & Braun  
page 27 haut gauche
- Petersen, Poul  
page 21 milieu
- Pollok/Gonzalo  
pages 36 haut gauche (2), 118 bas gauche, 204 haut droit (2)
- Pool, Martin  
pages 62, 66 bas, 118 haut gauche
- Reinberg, Georg W.  
page 42 milieu droit
- Renggli AG  
page 128
- Rogers, Richard  
page 5
- Roos Architekten  
page 95 bas
- Rudolfsky, Poul  
page 22 en haut
- Springer, Frank  
pages 107 bas (2), 134, 136, 137, 138, 139, 204 gauche (2)
- Steiner, Rupert  
pages 158, 159, 160, 161 haut gauche, 163
- tr architekten  
page 39 milieu gauche
- VIEW London, Raf Makda  
page 22 bas
- Warne, Bengt  
page 17 haut gauche
- Wogeno  
pages 58 gauche (2), 59 droit (2), 100 haut droit, 208 bas
- Détail, Munich: reproduction des dessins suivants avec l'aimable autorisation de leurs auteurs: pages 149, 150, 197, 198
- Les illustrations non renseignées des chapitres consacrés aux exemples ont été mises à disposition par les architectes et ingénieurs qui ont participé aux projets. Nous les remercions particulièrement à cette occasion pour leur collaboration active.
- Maquette: Roberto Gonzalo,  
Karl J. Habermann, Munich  
Mise en page: freiburger graphische betriebe, Fribourg-en-Brisgau
- Traduction de l'allemand: Yves Minssart  
Révision: Thomas de Kayser
- Nous tenons à remercier Mme Dominique Gauzin-Müller, architecte et journaliste, qui a contribué à l'établissement en français de la bibliographie, de la liste des institutions et la rédaction du glossaire.
- Illustration de la couverture: Maisons Senti à Kriens, Suisse (photographie: Beno Dermond, Zurich)
- Information bibliographique de la Deutsche Nationalbibliothek  
La Deutsche Nationalbibliothek a répertorié cette publication dans la Deutsche Nationalbibliografie; les données bibliographiques détaillées peuvent être consultées sur Internet à l'adresse <http://dnb.d-nb.de>.
- Les droits d'auteur de cet ouvrage sont protégés. Ces droits concernent la protection du texte, de l'illustration et de la traduction. Ils impliquent aussi l'interdiction de réédition, de conférences, de reproduction d'illustrations et de tableaux, de diffusion radiodiffusée, de copie par microfilm ou tout autre moyen de reproduction, ainsi que l'interdiction de divulgation, même partielle, par procédé informatisé. La reproduction de la totalité ou d'extraits de cet ouvrage, même pour un usage isolé, est soumise aux dispositions de la loi fédérale sur le droit d'auteur. Elle est par principe payante. Toute contravention est soumise aux dispositions pénales de la législation sur le droit d'auteur.
- Ce livre est aussi paru en version allemande (ISBN 978-3-7643-7255-2) et anglaise (ISBN 978-3-7643-7253-8).
- © 2008 Birkhäuser Verlag AG  
Basel · Boston · Berlin  
Case postale 133, CH-4010 Bâle, Suisse  
Membre du groupe d'éditeurs spécialisés Springer Science+Business Media
- Imprimé sur papier sans acide, composé de tissus cellulaires blanchis sans chlore. TCF ∞
- Imprimé en Allemagne  
ISBN: 978-3-7643-8451-7
- 9 8 7 6 5 4 3 2 1      [www.birkhauser.ch](http://www.birkhauser.ch)