



## 9<sup>e</sup> ÉDITION DU FORUM ECOPARC

**Potentiel solaire des territoires urbains:  
vers de nouveaux paradigmes ?**

TRACÉS dossier | 11.2017

<b>Avant-propos</b>	<b>2</b>
<b>Potentiel solaire des territoires urbains : vers de nouveaux paradigmes ?</b>	<b>3</b>
<b>Emmanuel Rey</b>	
<b>Stratégies de rénovation active pour le parc bâti suisse</b>	<b>6</b>
<b>Sergi Aguacil, Sophie Lufkin et Emmanuel Rey</b>	
<b>Du photovoltaïque sur mesure</b>	<b>10</b>
<b>Laure-Emmanuelle Perret-Aebi</b>	
<b>Analyse du potentiel solaire des toitures du Grand Paris</b>	<b>12</b>
<b>Félix Pouchain et Raphaël Ménard</b>	
<b>Le rôle des villes dans la transition énergétique</b>	<b>15</b>
<b>Olivier Arni et Christian Trachsel</b>	
<b>Réhabilitation de la Halle Pajol à Paris</b>	<b>18</b>
<b>Raphaëlle-Laure Perraudin</b>	
<b>Concevoir des façades actives bas carbone</b>	<b>20</b>
<b>Angela Clua Longas, Sophie Lufkin et Emmanuel Rey</b>	
<b>Impressum</b>	<b>24</b>

**Forum Ecoparc 2017**  
**«Potentiel solaire des territoires urbains : vers de nouveaux paradigmes ?»**  
**8 septembre 2017,**  
**Auditorium Microcity, Neuchâtel**

**Organisation**

Association Ecoparc, Neuchâtel, en partenariat avec le projet de recherche ACTIVE INTERFACES.  
 Comité d'organisation : Prof. Emmanuel Rey, directeur du Laboratoire d'architecture et technologies durables (LAST) de l'EPFL, associé de Bauart Architectes et Urbanistes SA, président du Comité; D<sup>r</sup> Sophie Lufkin, Laboratoire d'architecture et technologies durables (LAST) de l'EPFL; D<sup>r</sup> Laure-Emmanuelle Perret-Aebi, cheffe de secteur au sein du CSEM PV Center à Neuchâtel; Christian Trachsel, délégué à l'énergie de la Ville de Neuchâtel; Daniel Oswald, directeur de l'association Ecoparc; Kimberley Mees, chargée de projet de l'association Ecoparc.

**Partenaires du forum**

Partenaires officiels de l'association Ecoparc: Bauart Architectes et Urbanistes SA, Banque cantonale neuchâteloise, jura cement, Juracime SA, Planair SA, Schwab System, Viteos SA.

Soutien: Fonds national suisse de la recherche scientifique (FNS), Programme national de recherche Virage énergétique (PNR 70), Sophie und Karl Binding Stiftung, Loterie romande, Groupement des architectes neuchâtelois (gAn), Ville de Neuchâtel, Cleantech Alps, Journée de l'architecture et de l'urbanisme – Neuchâtel (JAU-NE).

Partenaire académique: Laboratoire d'architecture et technologies durables (LAST) de l'EPFL.

Partenaire média: Revue TRACÉS.

**Conférenciers**

Prof. Suren Erkman, professeur, Université de Lausanne | Co-président, Association Ecoparc, Neuchâtel  
 D<sup>r</sup> Tony Kaiser, E-Consulting, Bülach | Comité de direction du PNR 70, Zurich  
 Prof. Emmanuel Rey, directeur, Laboratoire d'architecture et technologies durables (LAST), EPFL, Lausanne | Associé, Bauart Architectes et Urbanistes SA, Berne / Neuchâtel / Zurich  
 Prof. Christophe Ballif, directeur, PV-Lab, EPFL, Neuchâtel  
 D<sup>r</sup> Laure-Emmanuelle Perret Aebi, cheffe de secteur, CSEM PV Center, Neuchâtel  
 D<sup>r</sup> Hans Curtius, Institut für Wirtschaft und Ökologie, Université de St-Gall  
 Félix Pouchain, chef de projet, Elioth, Paris  
 Olivier Arni, conseiller communal, Direction de l'Urbanisme, Economie et Environnement, Neuchâtel  
 Christian Trachsel, délégué à l'énergie, Ville de Neuchâtel  
 Sergi Aguacil, assistant-doctorant, Laboratoire d'architecture et technologies durables (LAST), EPFL, Lausanne  
 Karl Viriden, architecte et fondateur, Viriden & Partner, Zurich  
 Boris Lucchessa, ISSOL, Liège et Neuchâtel  
 Raphaëlle-Laure Perraudin, directrice et architecte, Jourda Architectes, Paris

Les présentations sont téléchargeables depuis le site Internet de l'association Ecoparc: [www.ecoparc.ch/nos-evenements/nos-forums/forum17](http://www.ecoparc.ch/nos-evenements/nos-forums/forum17)

L'association Ecoparc tient à remercier les conférenciers du Forum pour la rédaction des textes, ainsi que la revue TRACÉS pour la production et la diffusion de la présente publication.

**Image de couverture**

Halle Pajol, Paris (© Jourda Architectes Paris)

## Avant-propos

Au cours de sa longue histoire, l'humanité a inventé de nombreux systèmes économiques, souvent très sophistiqués. Mais le système industriel, depuis son émergence au début du 19<sup>e</sup> siècle, se caractérise par une particularité notable: une exigence énergétique inédite. Les villes, en particulier, ont connu un bouleversement radical par rapport aux structures urbaines traditionnelles, avec un développement phénoménal, impensable sans des agents énergétiques bon marché et facilement disponibles en grandes quantités.

Une autre caractéristique du système industriel réside dans sa nature dynamique, sa capacité à innover et se transformer constamment. C'est le cas en particulier de son approvisionnement en énergie, avec la succession de différents régimes énergétiques en moins de deux siècles: le déclin relatif des énergies traditionnelles (traction animale, vent, hydraulique, bois, charbon de bois) résultant de la montée en puissance progressive des énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz), puis l'émergence des énergies « modernes » (nucléaire, nouvelles énergies renouvelables). Ces régimes énergétiques ne se substituent du reste pas entièrement les unes aux autres, mais se superposent en partie.

L'énergie solaire, en particulier photovoltaïque, connaît depuis quelques années un développement spectaculaire (bien que parfois turbulent du fait du contexte économique), aussi bien en termes de diffusion massive que de perfectionnements techniques, au point qu'il est possible de parler de changement de paradigme.

C'est dans ce contexte dynamique que l'Association Ecoparc s'est associée au projet de recherche « Active Interfaces » (mené dans le cadre du Programme national de recherche 70 « Virage énergétique » du Fonds national suisse de la recherche scientifique) pour l'édition 2017 de son Forum biennal. Les participants, venant d'horizons variés – chercheurs, praticiens, investisseurs privés ou responsables de collectivités publiques – ont ainsi pu prendre connaissance des enjeux, solutions et expériences liés à cette évolution en profondeur du fonctionnement énergétique des territoires urbains, comme en témoigne la présente publication qui constitue les Actes du Forum Ecoparc 2017.

En vous souhaitant une lecture ensoleillée,

**Anne-Marie Van Rampaey et Suren Erkman**  
 Co-présidents de l'association Ecoparc



# Potentiel solaire des territoires urbains : vers de nouveaux paradigmes ?

Emmanuel Rey, professeur EPFL, directeur du Laboratoire d'architecture et technologies durables (LAST) et partenaire du bureau Bauart à Berne, Neuchâtel et Zurich <emmanuel.rey@epfl.ch>

**Selon les projections relatives à la transition énergétique, une part significative de la production électrique sera d'origine solaire d'ici 2050. Dans ce contexte, l'intégration de la production d'énergie photovoltaïque au cœur des territoires urbains constitue un enjeu majeur des prochaines décennies, tant pour les systèmes énergétiques appelés à évoluer dans le sens d'une décentralisation accrue que pour le milieu bâti en phase de densification.**

## UN CONTEXTE DE TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

A l'heure actuelle, malgré un important progrès technologique et économique, seule une partie du potentiel solaire est réellement valorisée au sein des agglomérations suisses. Divers obstacles tendent à limiter encore la mise en œuvre de systèmes photovoltaïques dans les processus de renouvellement urbain et à freiner l'émergence d'une véritable chaîne de valeur ajoutée dans ce domaine stratégique. Plusieurs changements de conditions cadres sont cependant intervenus récemment, augurant d'une nouvelle ère en la matière. Avec l'adoption de la révision de la loi sur l'aménagement du territoire et celle de la stratégie énergétique 2050, la Suisse a en effet fait le choix quasi-simultané de limiter l'étalement urbain et de s'inscrire dans une dynamique concrète de transition énergétique.

Au niveau de la production d'électricité, la sortie annoncée du nucléaire implique un développement important de la production d'énergie renouvelable. Il est en particulier prévu que la part d'électricité d'origine photovoltaïque représentera environ 20% en 2050 contre seulement 2,5% aujourd'hui<sup>1</sup>. Cet objectif correspond à 7 GW en 2030 et à 12 GW en 2050, soit respectivement 12% et 20% de la production électrique totale en Suisse. A l'instar de Swissolar, certaines associations spécialisées promeuvent par ailleurs des feuilles de route encore plus ambitieuses<sup>2</sup>.

En août 2017, il est estimé que l'ensemble des installations photovoltaïques en Suisse représente une puissance cumulée de 1,8 GW, en hausse régulière depuis une dizaine d'année (fig. 1) – ce qui correspond par ailleurs à l'évolution de la situation au niveau mondial (fig. 2). L'observation des tendances actuelles met en évidence que les objectifs de la stratégie énergétique 2050 sont atteignables, moyennant une poursuite de la croissance régulière observée actuellement et une intégration de panneaux photovoltaïques en toiture, mais également en façade<sup>3</sup>. Le potentiel est réellement significatif :

- 1 A titre comparatif, cette part est à l'heure actuelle de 6,9% en Allemagne, 3,4% aux Etats-Unis et 1,3% au niveau mondial.
- 2 Swissolar, «Feuille de route pour le déploiement du photovoltaïque en Suisse». Zurich : Swissolar, 2017, p. 2.
- 3 Ballif Ch., «L'énergie solaire au cœur de la transition énergétique». Forum Ecoparc 2017, Microcity, Neuchâtel, 8 septembre 2017.



1a



1b

- 1 Heron Tower à Londres (arch. Kohn Pedersen Fox, 2011). (© M. Arch Sustainable Tall Buildings (STB), © Skyscrapercity.com.)

des études ont mis en évidence qu'un quart des toits en Suisse pourraient produire suffisamment d'électricité photovoltaïque pour remplacer plus des deux tiers de la production d'électricité d'origine nucléaire<sup>4</sup>.

### DES ENJEUX POUR LES SYSTÈMES URBAINS

Au delà de ces aspects quantitatifs, la question est de savoir comment parvenir à augmenter simultanément la part d'énergie électrique photovoltaïque, la densité des territoires urbains, la qualité du cadre de vie et la durabilité de la consommation énergétique. En d'autres termes, il s'agit d'intégrer de manière créative, efficiente et harmonieuse la production d'énergie photovoltaïque aux processus de transformation du milieu urbain.

A l'échelle urbaine, ces enjeux concernent en premier lieu l'évolution de la morphologie, afin de garantir une valorisation optimale du rayonnement solaire dans les territoires urbains. Plusieurs projets de recherche portent sur cette vaste thématique, notamment dans l'optique d'optimiser le potentiel solaire à l'échelle du quartier<sup>5</sup> ou d'en améliorer la prise en compte lors de l'évaluation comparative de projets urbains<sup>6</sup>. Ils touchent également au fonctionnement même des réseaux énergétiques. Le milieu bâti sera en effet caractérisé à terme par une production d'énergie beaucoup plus décentralisée qu'aujourd'hui, qui ne proviendra plus exclusivement de grandes centrales électriques mais aussi des bâtiments eux-mêmes, qui deviendront à la fois consommateurs et producteurs d'énergie.

### NOUVELLES POTENTIALITÉS POUR LE PROJET ARCHITECTURAL

Le défi à venir ne se réduit cependant pas seulement à augmenter la part de solaire; il s'agit également d'être en mesure de le faire de manière harmonieuse et esthétique. C'est donc une triple équation entre densité, durabilité et qualité du cadre de vie que les architectes vont devoir appréhender pour œuvrer à la ville du futur. A l'origine, les panneaux photovoltaïques étaient soit noirs, soit bleu foncé, et présentaient l'apparence d'éléments techniques qui se greffaient tant bien que mal sur les toitures. Aujourd'hui, grâce à de multiples développements technologiques, il existe des panneaux de différentes textures et couleurs, y compris blancs, qui peuvent être mats, brillants ou semi-transparents. Ces nouveaux produits permettent une multitude d'utilisations et peuvent être plus aisément intégrés à l'enveloppe des bâtiments. Il en résulte de nouveaux paradigmes pour le projet



2a



2b

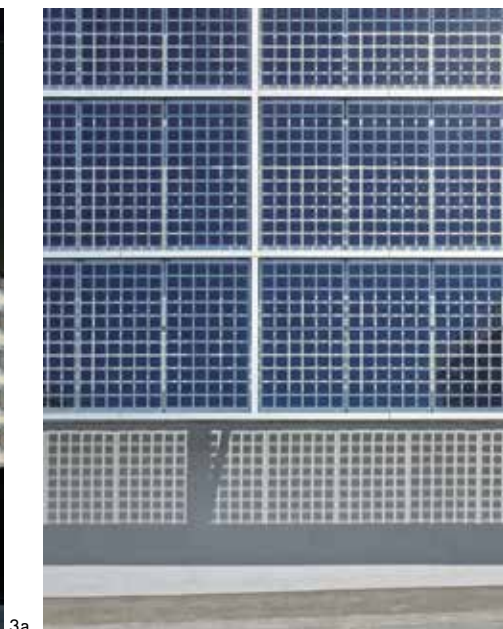
- 2 Premier bâtiment résidentiel autonome de Suisse à Brütten ZH (projet de Umweltarena en collaboration avec René Schmid Architectes). © Beat Bühler
- 3 Nouvelle façade active du CSEM, Neuchâtel (GD architectes) © Thomas Jantscher
- 4 Capacité photovoltaïque installée cumulative globale (d'après: données IHS, graphique PSE AG 2017)
- 5 Ventes annuelles de modules et puissance cumulée en Suisse (d'après Ballif Ch., «L'énergie solaire au cœur de la transition énergétique». Forum Ecoparc 2017, Microcity, Neuchâtel, 8 septembre 2017).

architectural, que ce soit pour les constructions neuves ou pour les rénovations<sup>7</sup>.

L'analyse des pratiques courantes met en évidence que le degré d'intégration architecturale demeure encore souvent relativement faible et qu'un nombre limité de projets ont recours au photovoltaïque intégré aux bâtiments (BIPV) dans les territoires urbains. Des pratiques émergentes voient cependant le jour dans divers pays, ce qui devrait amener progressivement de nouvelles références, susceptibles d'inspirer d'autres démarches architecturales<sup>8</sup>. Parmi les multiples exemples récents, citons notamment:

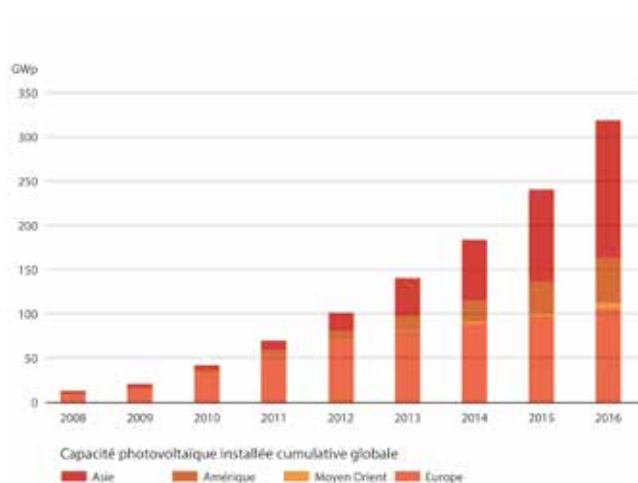
- la Heron Tower, immeuble de grande hauteur réalisé en 2011 à Londres par les architectes Kohn Pedersen Fox,
- l'immeuble administratif Energy Cube réalisé en 2011 à Constance par l'architecte Arnold Wild,
- la nouvelle façade du Centre suisse d'électronique et

4 Swissolar, «Stratégie énergétique 2050». Zurich: Swissolar, 2017, p. 4.  
5 Nault E., Peronato G., Rey E., Andersen M., «Review and critical analysis of early-design phase evaluation metrics for the solar potential of neighborhood designs». *Building and Environment*, 2015, vol. 92, p. 679-691.  
6 Nault E., *Solar potential in early neighborhood design: a decision-support workflow based on predictive models*. Thèse de doctorat réalisée sous la direction de la prof. M. Andersen et du prof. E. Rey. Lausanne: EPFL, Thèse n° 7058, 2016.  
7 Rey E., Lufkin S., Ballif Ch., Wuestenhagen R., Wittkopf S., Bacher J.-P., «Building integrated Photovoltaics - Active Interfaces». Séance inaugurale des PNR 70 et PNR 71, Lucerne, 24 avril 2015.  
8 Solt J. et al., «Constructions solaires». Cahier spécial de la revue *TRACÉS*, 2013, n° 10.  
9 Hans Curtius, «Comprendre le comportement et les préférences des acteurs». Forum Ecoparc 2017, Microcity, Neuchâtel, 8 septembre 2017.

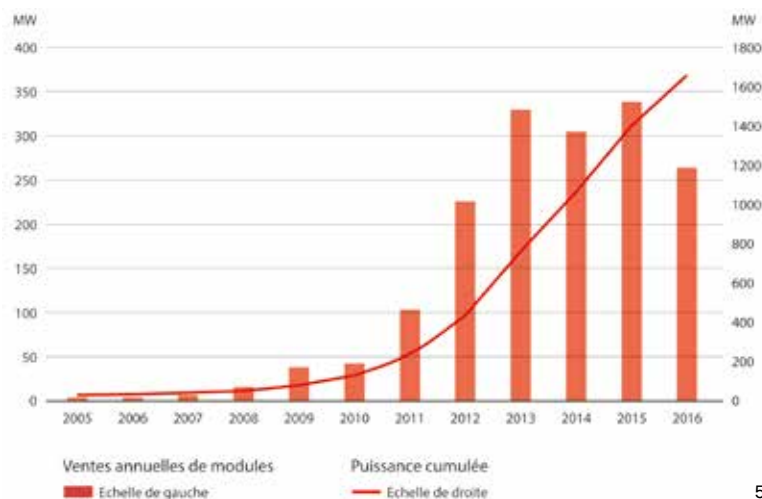


3a

3b



4



5

de microtechnique (CSEM) à Neuchâtel, composée de modules photovoltaïques constitués de cellules solaires bifaciales,

- la réalisation du premier bâtiment résidentiel autonome de Suisse à Brütten dans le canton de Zurich par l'architecte René Schmid en 2016,
- la récente rénovation d'un immeuble d'habitation des années septante par l'architecte Karl Viriden à Zurich, qui a mis en évidence la possibilité d'intégrer des façades actives également dans la transformation du bâti existant.

### NÉCESSITÉ D'APPROCHES INTÉGRATIVES

Le nombre croissant de bâtiments intégrant le BIPV met en évidence que de nouvelles possibilités d'intégration architecturale sont en train d'émerger sur le terrain. Les nouveaux produits apparaissent susceptibles de s'adapter à des bâtiments très diversifiés en termes de contexte, de forme ou de fonction. Parallèlement, de récentes études socio-économiques mettent en évi-

dence qu'un important public cible est prêt à investir dans le photovoltaïque, avec une préférence marquée pour des solutions totalement intégrées<sup>9</sup>.

L'évolution des conditions cadres et les progrès technologiques continus tendent à générer de nouveaux paradigmes pour l'intégration architecturale du photovoltaïque à l'enveloppe des bâtiments. Des actions convergentes à différents niveaux se révèlent dorénavant nécessaires pour parvenir à concilier les multiples objectifs quantitatifs et qualitatifs qui en résultent.

Compte tenu de la diversité des situations, il serait cependant illusoire d'imaginer l'application systématique d'une solution unique se voulant la panacée en matière d'enveloppe active. A l'inverse, l'un des facteurs de succès du BIPV réside plutôt dans la consolidation d'une culture interdisciplinaire du projet, où la cohérence expressive, la performance énergétique et la gestion des coûts trouvent par des approches sur mesure un équilibre optimal et intégré.



## ASSOCIATION ECOPARC

L'association Ecoparc se profile depuis plus de quinze ans comme une vitrine et un laboratoire du développement durable dans l'environnement construit. Elle se situe au cœur d'un réseau dense et professionnel, composé d'acteurs des milieux public, privé, académique et associatif. Elle propose un regard pertinent et proactif, en concevant différents événements et outils de communication qui favorisent les réflexions et les échanges entre particuliers et organisations. Elle se situe au carrefour d'une information fiable et de qualité, notamment par le biais d'une newsletter électronique, recensant l'actualité de l'environnement construit durable, d'expositions, de conférences, de débats, de plateformes et de forums.

L'association Ecoparc se positionne également en tant que pépinière de projets novateurs et génératrice de réseaux d'acteurs de l'environnement construit. Emblématique de cette démarche, la plateforme de l'urbanisme durable «urbaine.ch» promeut ainsi le dialogue entre experts et grand public en mettant en valeur des projets d'urbanisme ayant des composantes de durabilité. Neutre, apolitique et sans but lucratif, l'association est un interlocuteur privilégié pour conduire des plateformes collaboratives, à l'instar du programme Energie du Réseau des Villes de l'arc jurassien, de la plateforme neuchâteloise de l'urbanisme durable urbaine.ch, du réseau de management durable remad.ch, ou encore la plateforme Mobilité durable des entreprises neuchâteloises.

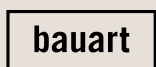
Informations détaillées sur [www.ecoparc.ch](http://www.ecoparc.ch)

Quelques références :

- [www.urbaine.ch](http://www.urbaine.ch)
- [www.holistic-ne.ch](http://www.holistic-ne.ch)
- [www.remad.ch](http://www.remad.ch)



Partenaires officiels de l'association Ecoparc



## ACTIVE INTERFACES

Piloté par le Laboratoire d'architecture et technologies durables (LAST) de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) et regroupant une dizaine de groupes de recherche, le projet de recherche interdisciplinaire ACTIVE INTERFACES est réalisé dans le cadre du Programme national de recherche «Virage énergétique» (PNR 70) du Fonds national suisse (FNS). Portant sur les stratégies opérationnelles permettant une intégration quantitative et qualitative du BIPV (photovoltaïque intégré au bâtiment) aux processus de renouvellement urbain, il a pour ambition d'apporter une contribution significative à la «Stratégie énergétique 2050». Au travers d'une approche holistique, de la production industrielle jusqu'à la mise en œuvre locale, le projet vise à dépasser les obstacles actuels liés à l'intégration du BIPV et à proposer des actions novatrices et ciblées pour la rénovation active des bâtiments existants.

Informations détaillées sur [www.activeinterfaces.ch](http://www.activeinterfaces.ch)

Partenaires du projet de recherche interdisciplinaire ACTIVE INTERFACES :

- LAST, EPFL, Lausanne | [last.epfl.ch](http://last.epfl.ch)
- PV-LAB, EPFL, Neuchâtel | [pvlab.epfl.ch](http://pvlab.epfl.ch)
- LIPID, EPFL, Lausanne | [lipid.epfl.ch](http://lipid.epfl.ch)
- CSEM, Neuchâtel | [www.csem.ch](http://www.csem.ch)
- ISAAAC, SUPSI, Canobbio | [www.supsi.ch/isaac](http://www.supsi.ch/isaac)
- CC EASE, HSLU, Lucerne | [www.hslu.ch](http://www.hslu.ch)
- IBI, ETHZ, Zurich | [www.ibi.ethz.ch](http://www.ibi.ethz.ch)
- IWÖ, FHSG, Saint-Gall | [iwoe.unisg.ch](http://iwoe.unisg.ch)
- IEnergy, EIAFR, Fribourg | [energy.heia-fr.ch](http://energy.heia-fr.ch)
- econcept AG, Zurich | [www.econcept.ch](http://www.econcept.ch)

//// active  
interfaces

Financement du projet de recherche ACTIVE INTERFACES



**Virage énergétique**  
Programme national de recherche

# IMPRESSUM

Cahier spécial de *TRACÉS* –  
Bulletin technique de la Suisse romande  
Supplément à *TRACÉS* n° 23-24 | 08.12.2017

## Production et diffusion

*TRACÉS* – Bulletin technique  
de la Suisse romande  
Rue de Bassenges 4, 1024 Ecublens  
Tél. 021 693 20 98  
[www.espazium.ch/traces](http://www.espazium.ch/traces)

## Editeur

espazium – Les éditions pour la culture  
du bâti  
Zweierstrasse 100, 8003 Zurich  
Tél. 044 380 21 55, fax 044 380 21 55  
[verlag@espazium.ch](mailto:verlag@espazium.ch)

Katharina Schober, directrice des éditions  
[katharina.schober@espazium.ch](mailto:katharina.schober@espazium.ch)  
Hedi Knöpfel, assistante  
[hedi.knoepfel@espazium.ch](mailto:hedi.knoepfel@espazium.ch)  
Martin Heller, président

## Impression

Stämpfli SA, Berne

## Abonnements

Stämpfli SA, Berne  
Tél. 031 300 62 53  
[abonnemente@staempfli.com](mailto:abonnemente@staempfli.com)

La reproduction totale ou partielle  
des images et du texte est autorisée unique-  
ment avec la permission écrite de l'éditeur.



//// active  
interfaces

