

Rapport annuel 2002**SOLURBAN****Optimisation du potentiel d'utilisation de l'énergie
solaire en milieu urbain**

Auteur et coauteurs	Prof. Dr Jean-Louis Scartezzini, Marylène Montavon (LESO-PB/EPFL), Prof. Dr Raphaël Compagnon (EIF/HES-SO)
Institution mandatée	Laboratoire d'Energie Solaire et de Physique du Bâtiment (LESO-PB)
Adresse	Bâtiment LESO, EPF – Lausanne, 1015 Lausanne
Téléphone, e-mail, site Internet	Tel.: 021 / 693 4545, E-mail: jean-louis.scartezzini@epfl.ch,, Website: http://lesowww.epfl.ch
N° contrat OFEN	82'170
Durée prévue du projet (de - à)	1 ^{er} octobre 2001 – 31 mars 2004

RÉSUMÉ

Le projet SOLURBAN vise à promouvoir une architecture urbaine respectueuse des principes du développement durable. Il s'agit ainsi de déterminer le potentiel d'utilisation de l'énergie solaire (énergie solaire passive et active, éclairage naturel et production d'électricité photovoltaïque) dans trois sites urbains représentatifs de villes suisses :

- un **quartier d'habitation et de petits commerces** à haute densité de population, situé en centre ville et composé principalement de bâtiments érigés avant-guerre (quartier de Matthäus à Bâle, 59 ha);
- un **quartier de logements collectifs**, composé principalement de bâtiments locatifs de 3 à 5 étages construits entre 1945 et 1975, entourés d'espaces verts et de forêts;
- un **quartier non-résidentiel situé en périphérie**, comprenant des surfaces commerciales et des bâtiments érigés entre 1970 et 1995 avec leurs parkings et espaces verts attenants.

Des indicateurs de performances, évalués par l'intermédiaire d'outils informatiques, sont utilisés pour mener à bien cette étude (distribution statistique d'irradiation et d'éclairement, surfaces appropriées aux différentes technologies solaires, etc.). Des **recommandations pratiques** et des **outils opérationnels** seront ainsi élaborés à l'usage des autorités communales et des services cantonaux, en vue de leur permettre d'intégrer les exigences du développement durable dans le cadre de projets d'intervention urbains.

Buts du projet

Le développement croissant des villes et des métropoles (80% de la population mondiale en 2050) exerce une influence prépondérante sur la consommation énergétique du parc immobilier, en Suisse comme dans le reste du Monde. Les progrès technologiques, accomplis en matière d'utilisation rationnelle de l'énergie dans les bâtiments (économie d'énergie, utilisation des énergies renouvelables), ne peuvent toutefois pas être transposés sans difficultés au cadre urbain : la haute densité d'occupation du sol, les contraintes urbanistiques (règlements de construction) et socio-culturelles (sauvegarde du patrimoine) obligent à prendre en compte certaines conditions spécifiques de ce contexte. Celles-ci tendent a priori à réduire les possibilités d'utilisation directe de l'énergie solaire (ombres portées, orientation inadéquate des façades et toitures, etc.).

Le but du projet est de promouvoir une architecture urbaine respectueuse du développement durable, permettant une meilleure utilisation directe de l'énergie solaire en site urbain. Il s'agit ainsi d'évaluer le **potentiel d'utilisation de l'énergie solaire dans trois quartiers** représentatifs de villes suisses (Lausanne, Genève, Bâle), en vue **d'optimiser l'implantation des principaux modes de captage direct de l'énergie solaire** (énergie solaire passive et active, éclairage naturel, électricité photovoltaïque).

L'accent est principalement placé sur la réduction de la consommation d'énergie fossile et d'émissions de gaz à effet de serre, résultant de l'exploitation des bâtiments: le niveau d'intervention se situe toutefois au niveau du gabarit et de l'enveloppe de groupe de bâtiments, considérés à l'échelle du quartier (îlots) et de la rue (canyon urbain). Des **recommandations pratiques**, en vue de l'élaboration de nouveaux plans de zone, seront ainsi générées à l'usage des milieux concernés (pouvoirs publics, investisseurs immobiliers, etc.)

Travaux effectués et résultats acquis

1. Sélection préliminaire d'un site urbain

Le choix d'un premier site urbain a été effectué sur la base des critères définis par l'Office Fédéral de l'Energie, qui conduiront à terme à l'étude de trois quartiers représentatifs de villes suisses :

- un **quartier d'habitation et de petits commerces** à haute densité de population, situé en centre ville et composé principalement de bâtiments érigés avant-guerre;
- un **quartier de logements collectifs**, composés principalement de bâtiments locatifs de 3 à 5 étages, construits entre 1945 et 1975 et entourés d'espaces verts et de forêts;
- un **quartier non-résidentiel situé en périphérie**, comprenant des surfaces commerciales et des bâtiments érigés entre 1970 et 1995 avec leurs parkings et espaces verts attenants.

Après examen des possibilités offertes par le Canton de Bâle dans le cadre du projet « Société à 2000 Watts – Région-pilote Bâloise », mené en collaboration avec la Confédération, le quartier de « Klein Basel – Matthäus » (15'000 habitants, 59 hectares), représentatif du premier type de quartiers, a été choisi comme objet d'étude.

2. Elaboration d'indicateurs de performance en site urbain

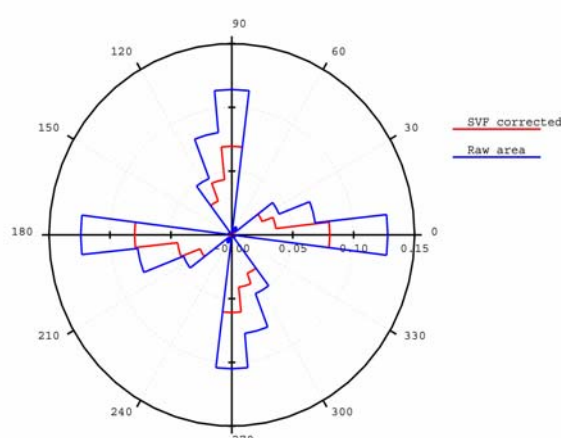
Des indicateurs de performance d'utilisation directe de l'énergie solaire, appropriés aux sites urbains, ont été élaborés dans une première étape. Ils ont été mis en œuvre sur ce premier quartier par l'intermédiaire d'un programme informatique développé à cet usage (logiciel PPF/Radiance).

Les indicateurs spécifiques de performance ainsi définis, comprennent en particulier :

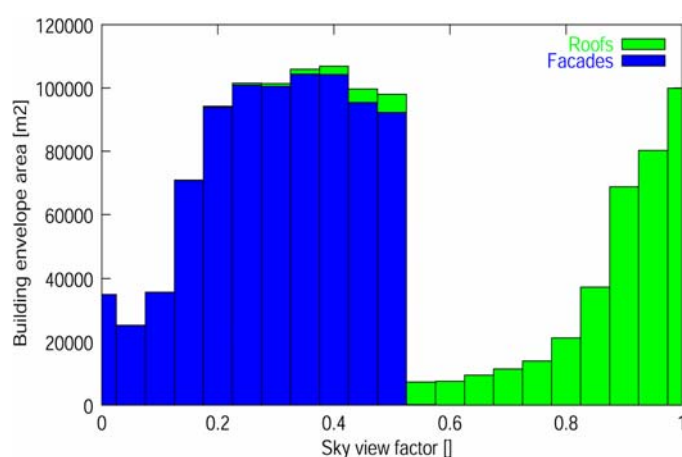
1. Des distributions statistiques d'irradiation solaire et d'éclairage naturel en façade et en toiture, déterminés sur des périodes caractéristiques (année entière, saison de chauffage, période diurne);
2. Les fractions relatives de façades et de toitures appropriées pour les différentes technologies de captage direct de l'énergie solaire (solaire passif et actif, éclairage naturel et photovoltaïque);
3. Des distributions statistiques de grandeurs caractéristiques des conditions d'éclairage naturel et de refroidissement passif (facteur de lumière du jour, fraction visible de ciel, etc.);
4. Des diagrammes polaires d'orientation principale de façades, pondérées par les fractions visibles de ciel (prise en compte des effets d'obstruction des bâtiments avoisinants).

La figure suivante illustre deux indicateurs de performance déterminés pour le quartier de Matthäus à Bâle. Ces derniers montrent l'orientation privilégiée des façades de bâtiments selon les directions cardinales (cf. Figure 1(a)), ainsi que l'importance des masques dus aux bâtiments

avoisinants (cf. Figure 1(b)) : Fraction Visible de Ciel des façades comprise entre 0.2 et 0.5 pour les façades), responsables de la réduction du potentiel de captage de l'énergie solaire en façades.



(a)



(b)

Figure 1 : Indicateurs statistiques de performance en milieu urbain (a) Diagramme polaire d'orientation des façades (b) Distribution de la Fraction Visible de Ciel.

3. Mise en œuvre d'un instrument d'évaluation de performances

L'ensemble de la procédure d'évaluation fait appel à un modèle numérique détaillé du quartier considéré (format DXF 3D Faces), à une base de données statistiques d'irradiation et d'éclairement générée à l'aide du programme Meteonorm (ciels statistiques) et à un logiciel de lancer de rayons (programme Radiance). Celle-ci est mise en œuvre au travers d'un progiciel d'interface (progiciel PPF), permettant de lier l'ensemble des opérations informatiques nécessaire pour mener l'analyse d'un site urbain (plate-forme informatique Linux/PC).

4. Evaluation des performances du quartier de « Klein Basel - Matthäus »

L'évaluation des performances du quartier de « Klein Basel – Matthäus » a été réalisée par cet intermédiaire à partir d'un modèle numérique du quartier fourni par le Grundbuch und Vermessungsamt du Canton de Bâle. La figure 2 illustre ce modèle numérique comprenant plus de 35'000 surfaces élémentaires.

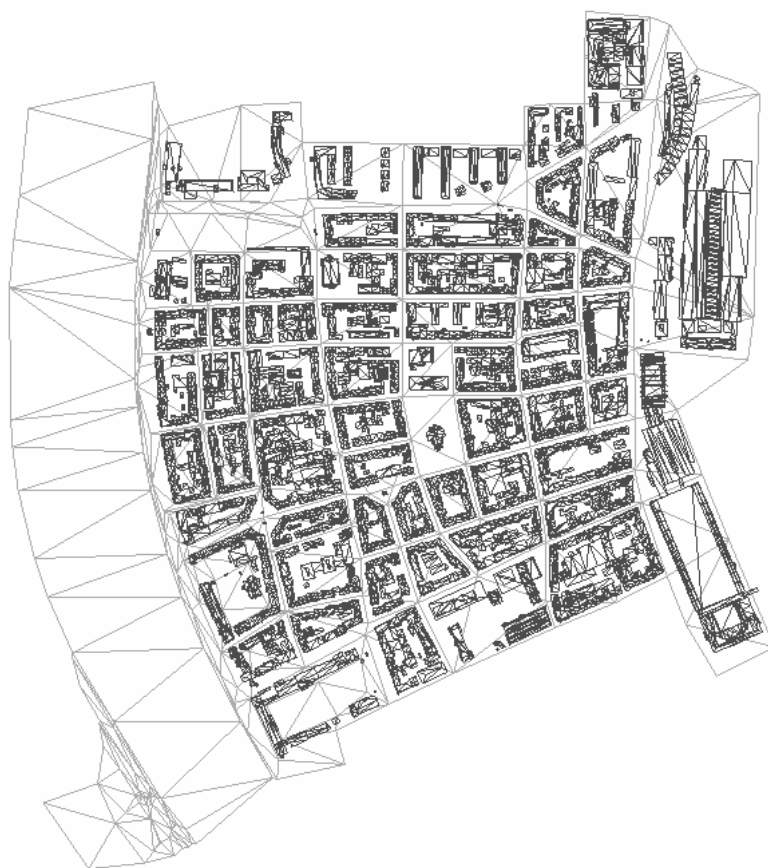


Figure 2: Modèle numérique du quartier de « Klein Basel – Matthäus »

Les distributions statistiques annuelles d'irradiation solaire ont ainsi été déterminées pour l'ensemble du quartier par l'intermédiaire de simulations numériques, effectuées sur une grappe d'ordinateurs PC/Pentium 4 cadencés à 1.3 GHz (60 heures de temps CPU par simulation). La figure 3 illustre, à titre d'exemple, le plan d'irradiation solaire annuelle de Matthäus obtenu par ce biais.

Les plans correspondant à l'irradiation hivernale (énergie solaire passive) et à l'éclairement annuel (éclairage naturel) ont été élaborés de la même manière : la même mise en forme graphique permet une utilisation efficace et rationnelle des résultats de simulation numérique (outils d'opération).

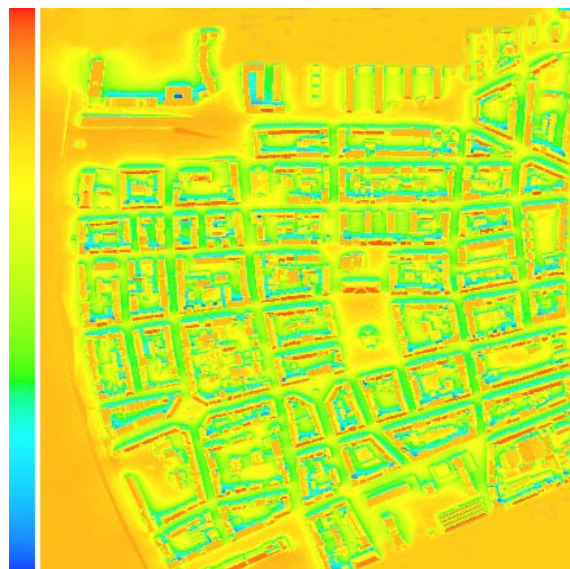


Figure 3: Plan d'irradiation solaire annuelle de l'ensemble du quartier de Matthäus (Echelle de couleur linéaire ; Maximum : 1250 [kWh/m².an]/rouge, Minimum : 0/bleu).

5. Optimisation des modes d'implantation des différentes technologies

Grâce à la définition de seuils minimaux d'irradiation et d'éclairement, fonctions des technologies solaires considérées (1000 [kWh/m².an] pour les dispositifs photovoltaïques en toiture, par exemple), les zones d'implantation correspondantes ont pu être déterminées par simulation numérique



Figure 4: Zones d'implantation appropriées aux capteurs photovoltaïques en toiture (Couleur jaune: seuil minimal d'irradiation annuelle de 1000 [kWh/m².an]).

Les surfaces relatives de façades et de toitures, appropriées à chacune des technologies solaires considérées, peuvent ainsi être déduites de cette manière. Près de la moitié des surfaces de toiture sont utilisables pour la production d'énergie électrique, en dépit de leur orientation ou de leur inclinaison (49.4 % des toitures bénéficient d'une irradiation annuelle supérieure à 1000 [kWh/m².an]); la plupart des façades ne bénéficie pas, quant à elle, d'un ensoleillement suffisant en raison des ombres portées par les bâtiments du quartier (seul 1.3 % des façades bénéficient d'une irradiation supérieure à 800 [kWh/m².an]).

Elaboration de recommandations pratiques

Afin de pouvoir fournir des recommandations pratiques aux services concernés de l'administration cantonale bâloise (Hochbau und Planungsamt, Service de l'Energie et de l'Environnement, etc.), le quartier de Matthäus a été subdivisé en une vingtaine d'îlots de petite taille couvrant l'ensemble du quartier. Les plans d'irradiation et d'éclairement ont été déterminés pour ces derniers, de manière à offrir des vues précises des zones d'implantation. Différents angles d'orientation et de vision donnent un aperçu de ces zones pour toutes les façades et toitures de bâtiments. La Figure 5 illustre ces plans pour un îlot particulier.

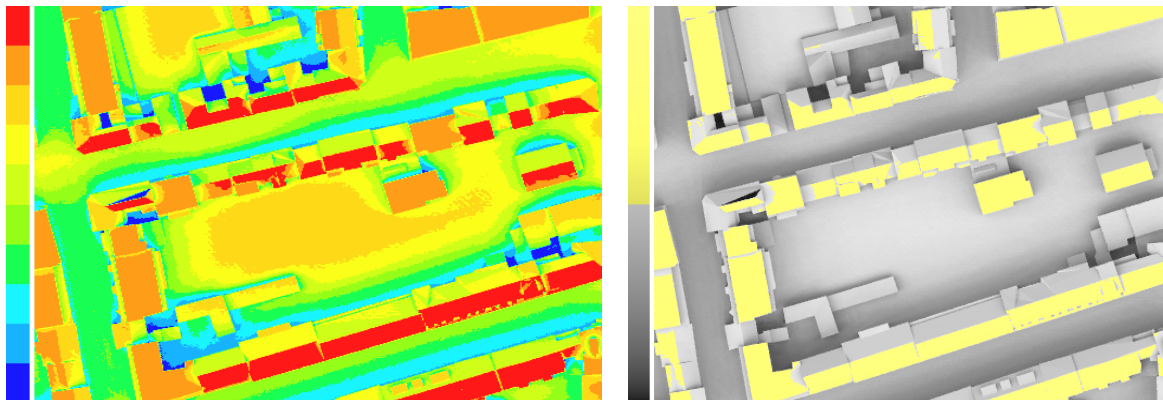


Figure 5: Plans d'irradiation annuelle et zones d'implantation en toiture de dispositifs photovoltaïques élaborés pour l'îlot de Riehenring.

Les plans correspondant aux autres technologies solaires ont été élaborés de la même manière pour l'ensemble des 20 îlots et constituent le dossier complet de l'étude menée sur le quartier de Matthäus.

Collaboration nationale

Le projet bénéficie de l'expérience acquise au LESO-PB/EPFL dans le domaine de l'application de l'énergie solaire au bâtiment, sous ses différentes formes (énergie solaire passive et active, éclairage naturel, production d'énergie photovoltaïque). Il s'appuie sur les connaissances scientifiques, les développements technologiques et les outils de simulation développés dans le cadre des projets suivants :

- Projet OFEN « LESO - Laboratoire d'énergie solaire » (dispositifs solaires passif et actif) [Fai90]
- Projet UE IMAGE « Advanced Glazings in Europe » (vitrages à hautes performances) [Cla98] [Sca97]
- Projet OFEN « Intégration de dispositifs anidoliques en façade » (éclairage naturel) [Sca99a] [Sca99b]
- Projet OFEN « DEMOSITE - Intégration architecturale du photovoltaïque » (production d'électricité PV) [Roe99]

Une synergie avec des projets nationaux, centrés sur la problématique des milieux urbains, est recherchée, par ailleurs, afin d'atteindre une masse critique suffisante au niveau des résultats scientifiques et opérationnels. Il s'agit principalement des projets « NOVATLANTIS », en faveur du développement durable, suivants :

- Projet CEPF « Société à 2000 Watts - Pilotregion Basel » (Domaine des EPF, R.Stulz ; Fachhochschule beider Basel, Prof. A. Binz et Hochbau und Planungsamt, M. H. Theus)
- Projet OFEN « Quartiers durables » (LESO-PB/EPFL, Dr J-B Gay et al)

Une collaboration directe avec l'Ecole d'Ingénieurs de Fribourg de la HES de Suisse Occidentale (Prof. Dr Raphaël Compagnon, co-requérant) est en cours dans le cadre du projet. Elle permet de bénéficier des compétences acquises par ce dernier en matière d'outils informatiques appliqués aux sites dans le cadre d'un récent projet européen.

Collaboration internationale

Plusieurs projets de recherche, centrés sur l'utilisation des énergies renouvelables en milieu urbain ont été initiés, ces dernières années, au plan européen: ils se sont concrétisés par un certain nombre de publications scientifiques remarquables [SEJ00]. Il s'agit, en particulier, des projets européens suivants:

Projet UE « SUNTOOL – Sustainable Urban Neighbourhood Modelling Tool » (LESO-PB/EPFL, Dr N Morel et al)

Projet UE « URBVENT - Natural ventilation in Urban Areas: Potential Assesment and Optimal Fa-cade Design » (LESO-PB/EPFL, Dr C-A Roulet et al)

Projet UE « PRECis - Assessing the Potential of Renewable Energy in Cities » (EIAF/HES-SO, Prof. R. Compagnon et al)

L'expérience, acquise dans le cadre de ce dernier projet, est directement mise à profit pour le projet SOLURBAN.

Évaluation de l'année 2002 et perspectives pour 2003

Le projet a été initié au 1^{er} octobre 2001: l'année écoulée constitue donc la première année effective du projet.

L'étude d'un premier site (quartier de Matthäus à Bâle) a été menée à bien dans le courant de l'année 2002, comme prévu dans le plan de travail, et cela en dépit des difficultés informatiques propres à des tâches de simulation numérique de cette envergure (mise en service d'un « Cluster » de PC/Pentium 4, adaptation des logiciels, format de données digitales etc.). L'année 2003 verra l'étude d'un second site (quartier de logements collectifs), dont la sélection est en cours dans l'une des villes romandes.

Références

- | | |
|---------|---|
| [Cla98] | J.A. Clarke et al., « <i>Implementation of advances glazings in Europe</i> », EU project, University of Strathclide, LESO-PB/EPFL, (1998) |
| [Com99] | R. Compagnon, « Evaluation du gisement solaire en milieu urbain », <i>Proc. of C/IBAT'99</i> , EPF-Lausanne, (1999) |
| [Com00] | R. Compagnon, D. Raydan, « Irradiance and illuminance distributions in urban areas », <i>Proc. of PLEA 2000 Conference</i> , Cambridge, UK (2000) |
| [Com00] | R. Compagnon, « <i>Solar and daylight availability in urban areas</i> », Final technical report, EU project, EIAF, Fribourg, (2000) |

- [Com02] R. Compagnon, « Assesment of the potential for solar energy applicatons in urban sites », *Proc. Of Eurosun 2002 International Conference*, 24 – 26 June 2002, Bologna (2002)
- [Fai90] A. Faist et al., « Chaleur et lumière dans le bâtiment », *Documentation SIA D056*, SIA/OFEN, (1990)
- [Nov01] Novatlantis Programme, « *Pilotregion Basel – Die 2000 Watts Gesellschaft* », ETH-Rat, FHBB, Basel, (2001)
- [Roe99] C. Roecker et al., « *Photovoltaïque sur toits plats : une nouvelle approche* », Rapport final, LESO-PB/EPFL, Lausanne, (1999)
- [Sca97] J-L Scartezzini et al., « *Daylighting Design of European Buildings* », EU project, LESO-PB/EPFL, Lausanne, (1997)
- [Sca99] J-L Scartezzini, L. Michel and G. Courret, « Experimental comparison of performances of daylighting systems », *Proc. of CISBAT'99*, Lausanne, (1999)
- [Sca99] J-L Scartezzini, « Intégration en façade de dispositifs anidoliques d'éclairage naturel », *Journal suisse de la technique pour fenêtres et façades*, Zürich, (1999)
- [Sca02] J-L Scartezzini, M. Montavon and R. Compagnon, « Computer evaluation of the solar energy potential in an urban environment », *Proc. Of Eurosun 2002 Conference*, 24 – 26 June, Bologna (2002)
- [SEJ00] « *Solar Energy in the Urban Environment – Special Issue* », Ed. M. Santamouris, *Solar Energy*, 79(3), (2001)