Analyse de potentiel solaire sur les toitures en vue d'installations PV

Autor(en): **Desthieux, Gilles**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin.ch : Fachzeitschrift und Verbandsinformationen von Electrosuisse, VSE = revue spécialisée et informations des associations Electrosuisse, AES**

Band (Jahr): **105 (2014)**

Heft 11

PDF erstellt am: **31.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-856318

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Analyse de potentiel solaire sur les toitures en vue d'installations PV

Application sur une zone commerciale à Grancia/TI

La forte croissance des panneaux solaires thermiques et photovoltaïques en Suisse a motivé le développement d'un outil destiné à identifier facilement et rapidement, à différentes échelles urbaines, les toitures à haut potentiel solaire. Combinant photogrammétrie, télédétection, systèmes d'information géographique, modélisation 3D et traitements d'image, cet outil permet de produire des indicateurs utiles pour l'analyse préliminaire d'installations photovoltaïques sur un bâtiment cible, tout en tenant compte de l'environnement proche.

Gilles Desthieux et al.

Les panneaux solaires thermiques et photovoltaïques sont actuellement en plein essor en Suisse. Il devient de ce fait nécessaire de disposer d'outils qui permettent facilement d'identifier en milieu bâti (de l'échelle de la ville à celle du quartier) les toitures les mieux adaptées à une valorisation solaire. Une étude a été réalisée dans ce sens, à la demande de l'Azienda Industriale di Lugano (AIL), par la Haute école du paysage d'ingénierie et d'architecture de Genève (HES-SO/hepia), la société Geofoto établie à Lugano et la société Amstein+Walthert Genève SA. Elle vise à faire la démonstration, sur un quartier de bâtiments commerciaux situés à Grancia / TI, d'un outil intégré permettant d'évaluer de façon automatisée l'irradiation solaire des toits et le potentiel de production énergétique d'installations photovoltaïques (PV) qui pourraient y être installées, en tenant compte de la morphologie des bâtiments et du site (ombrages). Ces indicateurs de performance sont des plus utiles pour une analyse préliminaire d'installations solaires sur un bâtiment ciblé.

La démarche décrite dans cet article se base sur l'outil SIG-Solaire qui a été notamment utilisé pour élaborer le cadastre solaire de tout le canton de Genève (300 km^2) [1], sur mandat de l'Office cantonal de l'énergie (OCEN) et des Services industriels de Genève.

Présentation de l'outil SIG-Solaire

Développé par hepia, l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) et le Politecnico di Milano, l'outil SIG-Solaire est issu d'un travail interdisciplinaire mettant en synergie un certain nombre de compétences et techniques dans les domaines de la photogrammétrie, de la télédétection, des systèmes d'information géographique (SIG) 2D et 3D, de l'analyse d'image et des indicateurs environnementaux.

Vue générale

L'outil SIG-Solaire permet d'évaluer l'irradiation solaire sur le territoire à différentes échelles temporelles avec une précision et fiabilité tout à fait satisfaisante pour un avant-projet d'installations solaires, et ce, grâce à la reconstitution précise du territoire et du bâti à travers un modèle numérique de surface 3D (MNS 3D).

Construction du modèle vectoriel 3D et du modèle numérique de surface 3D

Une méthode innovante de construction du MNS 3D a été mise au point. Elle est basée sur :

- la restitution vectorielle des bâtiments à partir d'images aériennes permettant de construire un modèle 3D constitué de points, de lignes de structure et de lignes de rupture ;
- les relevés d'altitude aéroportés réalisés en utilisant des techniques de télédétection par laser, telles que la « Light detection and ranging (Lidar) », aussi connue sous le nom d'« Airborne laser scanning (ALS) ».

Dans le cadre de la présente démonstration dans la zone commerciale de Grancia (figure 1), le MNS 3D de haute précision (résolution de 25 cm à l'échelle d'un quartier) a été construit par la société Geofoto en appliquant une approche hybride. Celle-ci était en effet basée, d'une part, sur la restitution vectorielle des bâtiments à partir d'images aériennes pour le bâtiment commercial analysé (entouré en rouge dans la figure 1) et les bâtiments voisins (secteur en vert dans la figure 1) et, d'autre part, sur les relevés d'altitude aéroportés pour les bâtiments lointains et le terrain (effets du relief).

L'organigramme présenté dans la figure 2 donne une vision synthétique et transparente des différentes étapes (flux) et des données d'entrée, produites, calculées et exploitées. La restitution vectorielle pour le bâtiment de Grancia analysé est représentée dans la figure 3.

Geofoto SA, hepia

Figure 1 Photographie aérienne de la zone test à Grancia.

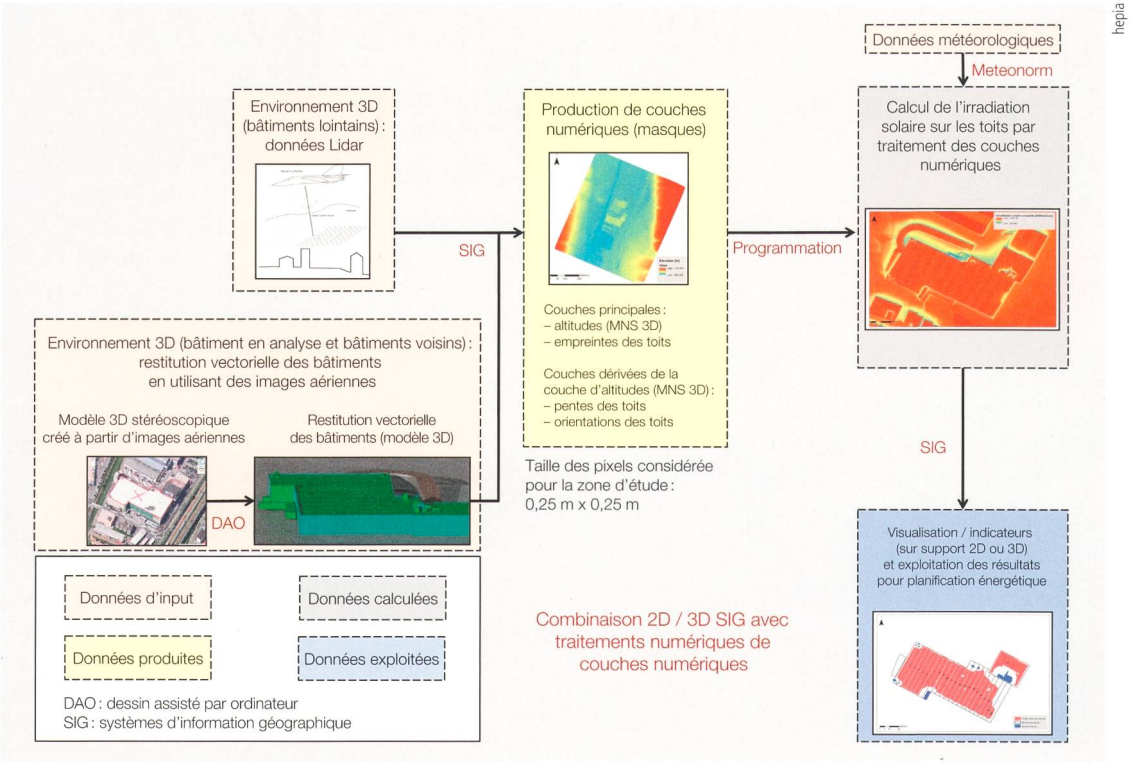

Figure 2 Vue synoptique de la démarche utilisée et des outils pour calculer l'irradiation solaire sur le territoire.

Les images de la figure 4 présentent le MNS 3D pour toute la zone d'étude (figure 4a) et de façon détaillée pour le bâtiment de Grancia analysé, en 2D (figure 4b) et en 3D (figure 4c).

Plus-values du modèle vectoriel 3D et du MNS 3D construits

La structure des toits a été parfaitement reportée. Ceci permet d'assurer des calculs fiables, mais aussi d'élaborer un avant-projet des futures installations photovoltaïques qui soit efficace et sûr en termes de coûts et de rapport qualité-prix. L'intérêt de cette méthode est aussi d'éviter les relevés sur les toits et donc les situations dangereuses qui en résultent, ainsi que de perdre du temps pour les devis.

L'impact esthétique est aussi très important : par exemple, un nouveau projet d'installation de panneaux photovoltaïques pourra être visualisé (par des clients ou toute autre personne intéressée) sur la base du modèle vectoriel 3D.

Production d'indicateurs

Les résultats bruts d'irradiation sont ensuite traités (phase de post-traitement) dans des outils SIG (ArcGIS) pour produire des indicateurs utiles pour la communication et l'aide à la planification et décision. Dans le cas de la présente étude, il s'agit :

- des valeurs d'irradiation brute annuelle et mensuelle (en mode numérique) ;
- des courbes d'iso-irradiation ;

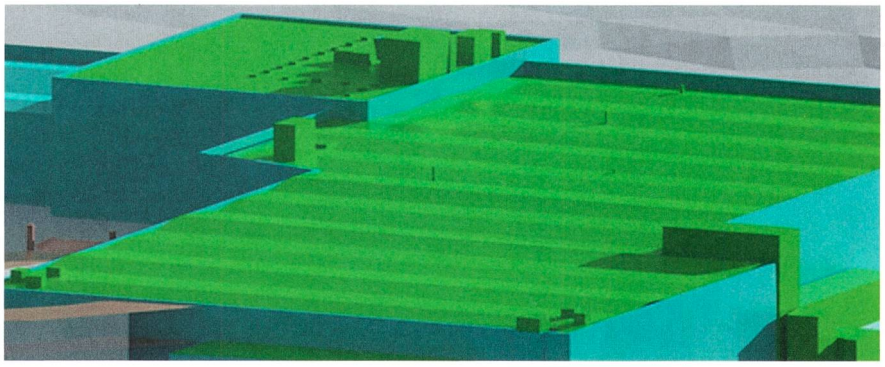
Geofoto SA

Figure 3 Vue 3D des toits du bâtiment commercial selon la méthode de restitution vectorielle.

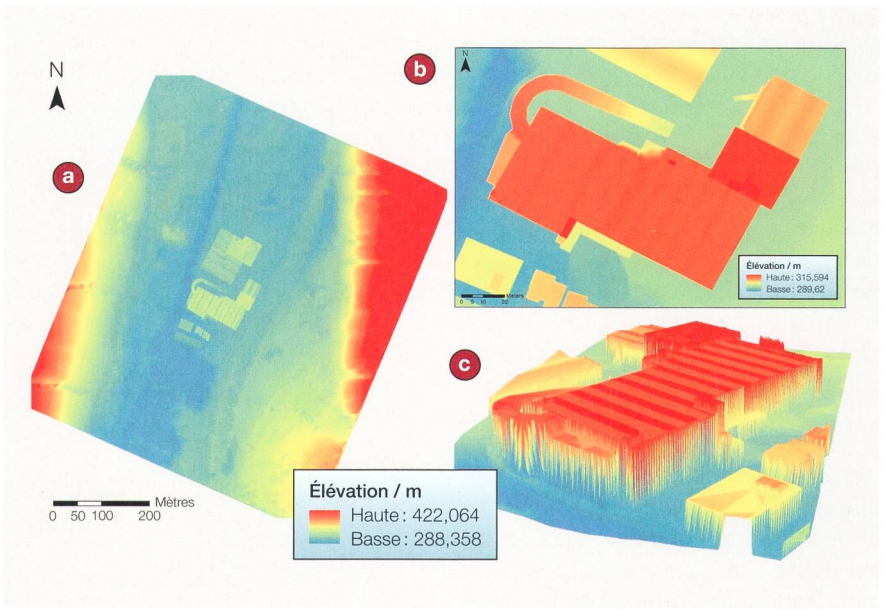

Figure 4 MNS 3D : vue globale de toute la zone d'étude (a) et vue détaillée en 2D (b) et en 3D (c) du bâtiment analysé à Grancia.

hepia

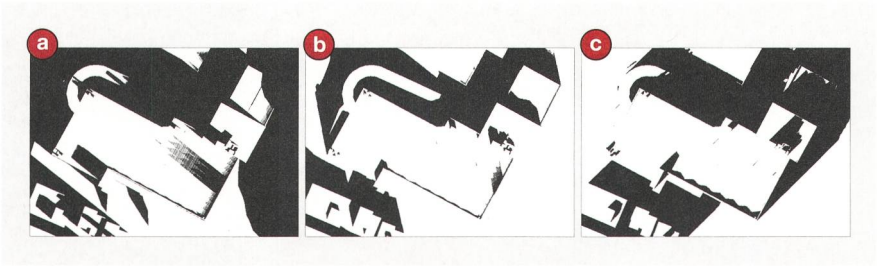

Figure 5 Ombrage sur l'irradiation directe le 15 janvier à 9h (a), 12h (b) et 17h (c).

hepia

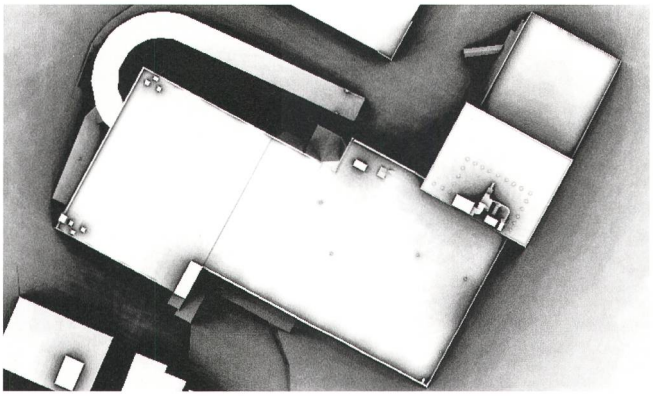

Figure 6 Ombrage sur le diffus (ombrage permanent) : sky view factor.

- du ratio d'ombrage ;
- des indicateurs géométriques (parties de toitures utiles), énergétiques (électriques) et économiques.

Ces indicateurs seront illustrés plus loin lors de la présentation des résultats de l'étude.

Données météorologiques et modèle d'ombrage

Le calcul d'irradiation nécessite comme source de données des valeurs horaires d'irradiation sur plan horizontal mesurées ou statistiques. Pour cette étude, l'outil Meteonorm (v6.1) a été utilisé pour établir des valeurs statistiques horaires à partir des données mesurées à Lugano sur la période 1980-2000.

Les formules permettant de calculer l'irradiation horaire sur un plan incliné ont été programmées dans un langage mathématique. Elles sont établies à partir de données météorologiques et des formules usuelles de géométrie solaire et tiennent compte des ombres portées. Les résultats bruts horaires (en mode numérique) peuvent être ensuite agrégés sur différents pas de temps : jour, mois, année.

L'irradiation globale est une addition de trois composantes : directe, diffuse et réfléchie. Les composantes du direct et du diffus sont multipliées par des facteurs d'ombrage. L'ombrage sur le direct est évalué à chaque heure d'une journée type à partir du voisinage proche (bâti, arbres). Le facteur d'ombrage sur le diffus peut être approché par le « sky view factor (SVF) » qui analyse le degré de visibilité ou non-obstruction dans l'hémisphère centré sur un pixel analysé donné, selon le principe du « fisheye ».

Les algorithmes utilisés pour calculer ces facteurs d'ombrages sont issus de la thèse de C. Ratti [2].

Résultats de l'analyse du potentiel solaire

Les résultats de l'analyse d'ombre portée, selon les périmètres proche et lointain (relief), sont présentés dans les **figures 5 et 6.** Elles montrent l'ombrage sur l'irradiation directe pour une heure donnée **(figure 5)**, ainsi que le SVF ou ombrage permanent **(figure 6)**.

Indicateurs utiles

Pour la communication et l'aide à la planification et à la prise de décision, il est nécessaire de pouvoir présenter des indicateurs reflétant au mieux l'irradiation solaire et l'ombrage du bâtiment étudié, ainsi que les prévisions énergétiques et économiques correspondant aux données géométriques de l'installation photovoltaïque la mieux appropriée au site.

Irradiation solaire

L'irradiation est calculée sur chaque pixel du site pour la totalité de l'année et séparément pour chacun des 12 mois. Les résultats bruts sur le bâtiment commercial et son voisinage immédiat sont présentés dans la **figure 7.** La **figure 8** met quant à elle en évidence la variabilité de l'irradiation par le biais de courbes d'iso-irradiation annuelle.

Ratio d'ombrage

La **figure 9** montre le ratio d'ombrage ($R_{ombrage}$). Il est défini à partir du quotient « irradiation annuelle calculée avec prise en compte de l'ombrage ($I_{ombrage}$) sur irradiation annuelle calculée sans prise en compte de l'ombrage (I_{sans}) » selon la formule suivante :

$$R_{ombrage} = 1 - \frac{I_{ombrage}}{I_{sans}} \qquad (1)$$

hepia

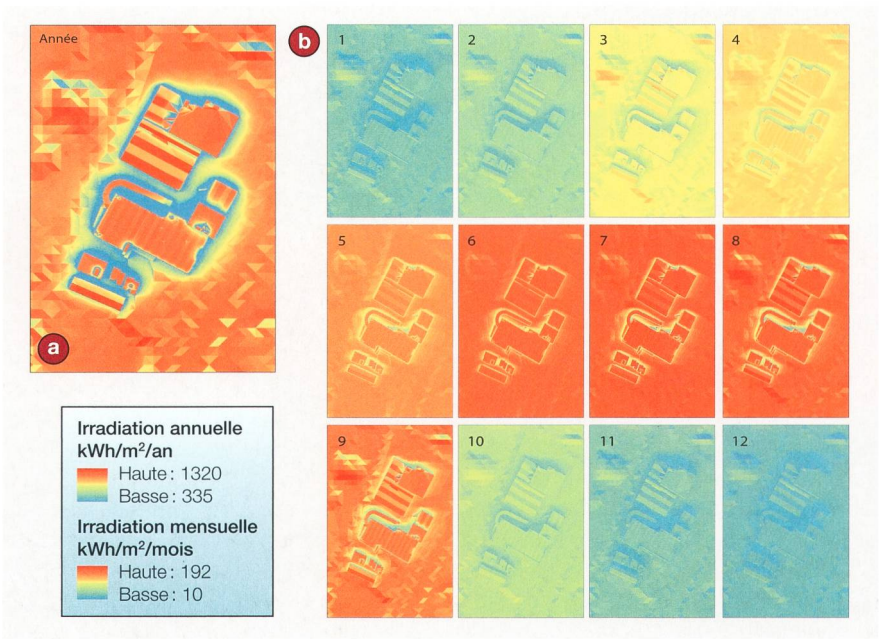

Figure 7 Irradiations brutes annuelle (a) et pour chacun des 12 mois (b) sur la toiture principale et le voisinage.

hepia

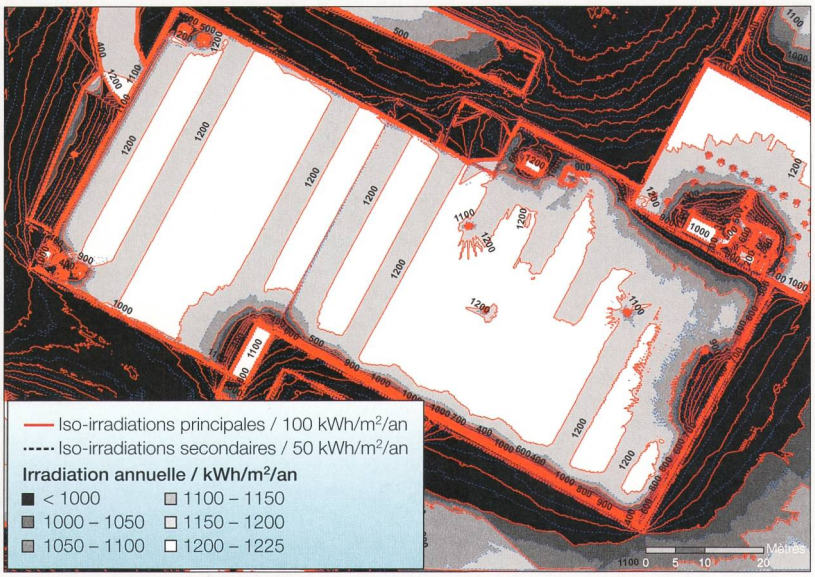

Figure 8 Courbes d'iso-irradiation annuelle sur la toiture principale.

hepia

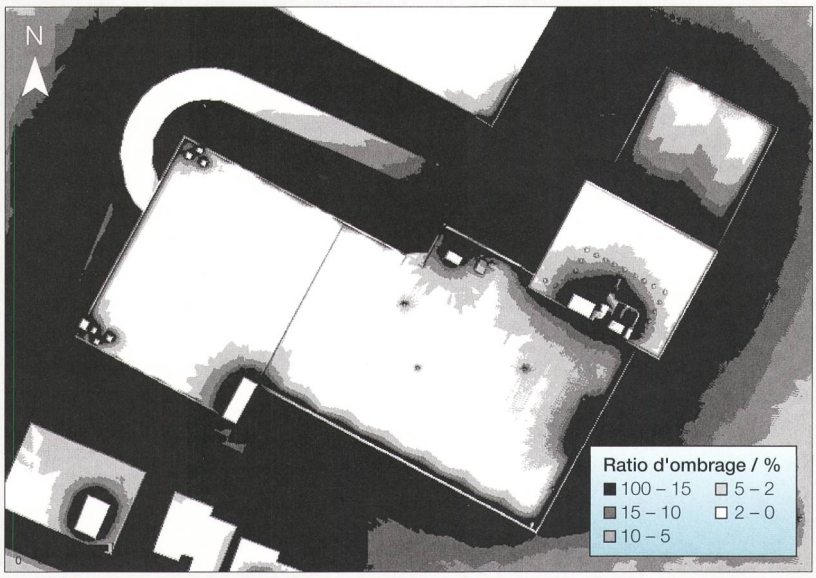

Figure 9 Ratio d'ombrage.

Les valeurs proches de 0 % mettent donc en évidence les zones très faiblement ombragées globalement sur l'année. On voit notamment l'effet du panneau publicitaire surélevé (intitulé « Grancia ») au niveau de la Via Cantonale, du mur bordant la partie sud de la toiture et des différents équipements techniques (sorties de ventilation, cage d'ascenseur, etc.). Une telle image est très utile pour indiquer les zones des toitures où des panneaux solaires pourront être installés.

Indicateurs géométriques, énergétiques et économiques

Les indicateurs de géométrie et de production énergétique (électrique) sont calculés sur les parties utiles des toitures, c'est-à-dire celles étant très faiblement ombragées globalement sur l'année (ratio d'ombrage < 5 %, voir **figure 9**), bien exposées et irradiées et pouvant faire l'objet d'une installation solaire. Par ailleurs, pour définir ces parties utiles de toiture, une marge de 0,5 m est prise sur les bordures pour des raisons d'accès lors de l'installation de panneaux solaires. La **figure 10** représente la partie utile de la toiture en tenant compte des marges de 0,5 m.

Les indicateurs énergétiques et économiques sont liés à la production électrique des panneaux PV. Ils sont calculés pour un panneau de type polycristallin (16 % de rendement) selon les grilles de calcul élaborées par la société Amstein-Walthert Genève SA. Les valeurs données dans le **tableau** sont indicatives dans le cadre de la présente démonstration et devront être affinées en vue d'études détaillées au niveau des avant-projets. Elles sont issues d'un bilan technico-économique complet sur 30 ans, prenant en compte comme éléments économiques le coût d'installation, l'inflation, les frais divers (entretien annuel, location de toiture, démantèlement, assurance, remplacement de l'onduleur) et les revenus de la revente du courant (RPC). Selon ce bilan, pour l'objet de toiture analysé, le taux de rentabilité interne (TRI) est supérieur à 4 %.

Utilisation des indicateurs par l'AIL

Le fait de pouvoir disposer de plans 3D précis, grâce au modèle MNS, représente un gain de temps important pour deux raisons essentielles : d'une part, il n'est souvent pas possible, dans les zones industrielles, d'obtenir les plans récents et précis indispensables pour projeter un système de panneaux photovoltaïques. Les relevés in situ impliquent des moyens humains en temps très importants. Généralement, avec les moyens à disposition, la précision de ces relevés n'est pas optimale, nécessitant davantage de contrôle et de vérification sur place.

D'autre part, pour les toits complexes ou composés d'obstacles qui provoquent des ombres, la possibilité d'obtenir un plan précis des ombrages et de l'irradiation (courbes de niveau) aide fortement à optimiser les systèmes photovoltaïques au niveau de la création de chaînes uniformes de panneaux ou dans le choix, par exemple, d'implémentation d'optimiseurs de production ou encore de micro-onduleurs pour les modules montés dans les zones ombragées à certains moments de la journée.

Conclusions et perspectives

Cette étude test a fait la démonstration d'un outil intégré, basé sur les techniques de photogrammétrie, de SIG et d'analyse d'image, pour évaluer en tout point d'un territoire donné l'irradiation solaire tenant compte des ombrages.

La démonstration a été faite sur un quartier de bâtiments commerciaux à Grancia. Cependant, à l'exemple du cadastre solaire à Genève, le potentiel solaire pourra être analysé facilement de façon automatique sur toute une commune, comme celle de Lugano.

hepia

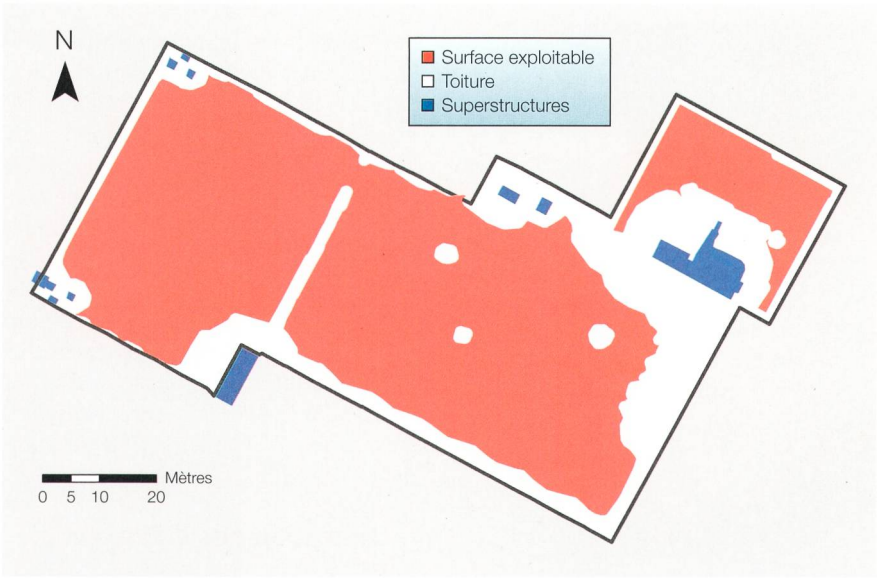

Figure 10 Partie utile de la toiture commerciale issue de l'analyse de l'irradiation solaire (en rouge) et superstructures (en bleu).

Surface potentielle de panneaux PV / m^2	3566
Pente moyenne / °	5,00
Orientation moyenne	Sud
Irradiation moyenne / $kWh/m^2/an$	1263
Puissance installée / kW_c	570
Coûts annualisés / CHF/an	76 000
Production électrique moyenne annuelle / kWh/an	496 000
Revenus RPC / CHF/an	110 000
Émissions CO_2 économisées selon mix UE15 / tCO_2/an	188

Tableau Indicateurs géométriques, énergétiques, économiques et environnementaux.

Les parties utiles des toitures, telles qu'illustrées sur la **figure 10,** ne correspondent pas exactement à l'implantation des panneaux solaires, étant donné les formes parfois irrégulières et discontinues de ces parties. Cependant, à l'échelle d'un parc de plusieurs bâtiments ou de tout un territoire, cette méthode basée sur une analyse systématique et automatique des toitures est très utile pour identifier et sélectionner les toitures à haut potentiel en termes de surface et de production énergétique et, dans le cadre de prospection ou de marketing à grande échelle, pour fournir une analyse préliminaire en vue de projets d'installations solaires. En effet, les besoins d'évaluation de potentiel solaire de la part des collectivités publiques ou privées se concentrent généralement sur un nombre limité de toits.

Une fois les toitures à haut potentiel sélectionnées, il s'agit ensuite d'adopter des techniques d'analyse à haute précision en vue d'études détaillées d'installations solaires, au cas par cas, sur ces toitures. Le modèle numérique de surface 3D (MNS 3D) construit pour la zone commerciale de Grancia a une résolution spatiale de 25 cm. Dans ce type d'analyse, le souci du détail va toujours plus loin. Ainsi, dans certains cas (notamment lorsque le toit est complexe dans sa structure) l'utilisation de drones pour l'acquisition d'images aériennes à haute résolution spatiale devient même recommandée. En effet, l'utilisation de ces images aériennes permet de construire des MNS 3D avec une résolution spatiale nettement supérieure (10 cm).

Références

[1] ge.ch/geoportail/infoenergie/.
[2] C. Ratti : Urban analysis for environmental prediction. PhD dissertation, University of Cambridge, Cambridge, UK, 2001.

Auteurs

Gilles Desthieux, ingénieur en environnement et docteur ès sciences de l'EPFL, est chargé de cours à la Haute école d'ingénierie d'architecture et du paysage de Genève (HES SO/GE) et également consultant en énergie à la société Amstein+Walthert Genève SA. Ses activités concernent notamment la planification énergétique territoriale et le suivi de quartiers urbains durables. Il a coordonné le projet de cadastre solaire à Genève.
hepia, 1202 Genève, gilles.desthieux@hesge.ch

Claudio Carneiro, ingénieur géomaticien de l'Université de Lisbonne et docteur ès sciences de l'EPFL, est chef de projet à l'Office de l'information sur le territoire (OIT) du canton de Vaud. Il a activement contribué au développement du cadastre solaire genevois au sein de l'EPFL.
OIT, 1014 Lausanne, claudio.carneiro@vd.ch

Philippe Hotteges, géomètre, est collaborateur chez Geofoto et notamment spécialiste en photogrammétrie et modélisation 3D du milieu urbain.
Geofoto, 6924 Sorengo, geofoto@aggeo.ch

Cristiano Bernasconi, est ingénieur ETHZ géomètre et président de la société Geofoto SA.
Geofoto, 6924 Sorengo, geofoto@aggeo.ch

Pascal Casalini, ingénieur électricien de l'EPFL, est responsable des installations de panneaux solaires photovoltaïques chez Azienda Industriale di Lugano (AIL).
AIL, 6901 Lugano, pcasalini@ail.ch

Martin Python, ingénieur physicien EPFL et docteur ès sciences UniNE, est chef d'équipe « Physique du bâtiment » chez Amstein+Walthert Genève SA et réalise notamment des avant-projets d'installations photovoltaïques.
Amstein+Walthert Genève, 1211 Genève 7, martin.python@amstein-walthert.ch

Zusammenfassung **Fotovoltaik-Potenzialanalyse für Dachflächen**

Anwendung bei einem Gewerbegebiet in Grancia/TI

Solarthermie- und Fotovoltaikanlagen erleben in der Schweiz derzeit einen regelrechten Boom. Es werden deshalb Tools benötigt, mit denen sich die Dachflächen in bestehenden Siedlungsgebieten (auf städtischer Ebene bis hin zu einzelnen Stadtvierteln) ermitteln lassen, die sich für die Nutzung der Solarenergie am besten eignen.

Im Auftrag der Azienda di Industriale Lugano (AIL) wurde von der Haute école du paysage d'ingénierie et d'architecture in Genf (HES-SO/hepia) zusammen mit dem in Lugano ansässigen Unternehmen Geofoto und dem Unternehmen Amstein + Walthert Genf SA eine Studie in diesem Bereich durchgeführt. Ziel der Studie war es, mit einem integrierten Tool für ein Quartier mit Gewerbeimmobilien in Grancia/TI die Sonneneinstrahlung auf den Dachflächen und das Energieerzeugungs-Potenzial der dort geplanten Fotovoltaikanlagen in automatisierter Form und unter Berücksichtigung der Gebäude- und Standortmorphologie (Abschattung) zu bewerten.

Das Tool kombiniert Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformationssystemen, 3D-Modellierung und Bildverarbeitung. Damit konnten Schlüsselindikatoren für die Entscheidungsfindung ermittelt werden, wie z.B. Sonneneinstrahlung und Abschattung des Gebäudes für verschiedene Zeiträume sowie die energetischen und wirtschaftlichen Prognosen auf Basis der geometrischen Daten der für den Standort optimalen Fotovoltaik-Anlage. CHe

Strom-Effizienz:

Reden ist Silber – Handeln ist Gold

Ihre Kunden verlangen nach Stromeffizienz und Nachhaltigkeit in ihren Bauvorhaben. Damit Sie diese Anforderungen wunschgemäss erfüllen können, helfen wir Ihnen nicht nur mit technischem Wissen und gutem Rat: Die Elektro-Material AG macht den Schritt zur Tat und lanciert mit EM ecowin eine Stromeffizienz-Initiative, die Sie und Ihre Kunden für Ihr Engagement mit barer Münze belohnt.

Mit jährlichen Fördergeldern in der Höhe von 1 Million Franken setzt die EM ein starkes Zeichen zugunsten von effizienten Stromsparmassnahmen.

Fragen Sie Ihren Kundenberater nach der Stromeffizienz-Initiative EM ecowin oder informieren Sie sich unter:
www.elektro-material.ch/ecowin

save energy – save money

EM

Ihr guter Kontakt

Basel ■ Bern ■ Genève ■ Heiden ■ Lausanne ■ Lugano ■ Luzern ■ Sion ■ Zürich

www.elektro-material.ch