Zeitschrift: Tracés : bulletin technique de la Suisse romande
Herausgeber: Société suisse des ingénieurs et des architectes
Band: 143 (2017)
Heft: [23-24]: 9e Édition du Forum Ecoparc

Artikel: Analyse du potentiel solaire des toitures du Grand Paris
Autor: Pouchain, Félix / Ménard, Raphaël
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-736796

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 24.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Analyse du potentiel solaire des toitures du Grand Paris

Félix Pouchain, chef de projet, Elioth, Lyon, France <f.pouchain@elioth.fr>
Raphaël Ménard, directeur, Elioth, Montreuil, France <r.menard@elioth.fr>

Les mêmes questions se posent pour tous les territoires lancés dans la transition énergétique qui se tournent vers l'énergie solaire: quel est le potentiel d'installation sur leurs bâtiments? Comment les formes urbaines impactent-elles le gisement solaire? Et au-delà d'un chiffre global de surfaces disponibles, quelles sont précisément les toitures qui ont le plus grand potentiel?

Quand l'Atelier Parisien d'Urbanisme a commencé à alimenter ses réflexions sur un Plan Local de l'Energie de la métropole du Grand Paris en 2015[1], une évaluation très précise du gisement solaire de chaque mètre carré du territoire existait déjà, calculée sur la base de données d'élévation à la résolution suffisamment fine pour distinguer les variations de pente et les différents obstacles à l'installation de panneaux: systèmes de refroidissement, gaines de ventilation, cheminées, skydomes... Le positionnement des installations restait cependant à réaliser manuellement, ce qui rendait l'étude de chaque toiture longue et donc l'évaluation précise de différentes typologies difficile.

CONCEPTION D'UN MODÈLE DE SIMULATION INNOVANT

Afin de concevoir une méthode reproductible de calcul et de consolider les premières estimations de l'APUR, Elioth a donc conçu un modèle de simulation et étudié huit tissus typiques du territoire: des tissus anciens dans le Marais aux toitures très irrégulières et encombrées des immeubles haussmanniens avec brisis, terrassons et cheminées, des immeubles du 20e siècle à toitures à deux pans ou plates, des immeubles récents et des tissus moins denses, pavillonnaires ou accueillant des entrepôts.

Pour chaque toiture de la typologie de tissu étudiée, le modèle conçu cherche dans un premier temps les plus grandes zones planes de toitures non encombrées qui pourraient accueillir des panneaux solaires en toiture ou en intégration au bâti. Le gisement solaire horaire vu par les panneaux est calculé au pas horaire, à partir de masques proches, tels que les cheminées ou les pans de toitures voisins et de masques lointains, formés par les bâtiments et les reliefs. La production horaire d'électricité ou de chaleur suivant le type de panneaux est alors calculée. Ceci permet de déterminer, sur la base d'hypothèses de coût et de paramètres d'analyse de cycle de vie, les principaux indicateurs déterminants pour l'équilibre technique, économique et environnemental d'une installation solaire: productivité en kWh/kWc, coût du kWh produit en €/kWh, intensité carbone de l'énergie produite en gCO_2e/kWh.

GRANDE DIVERSITÉ DE POTENTIELS D'INSTALLATION

Résultat attendu, ce sont les entrepôts qui ont le plus gros potentiel d'installation, avec environ 17 % de l'emprise de toiture installable, ce qui permet d'atteindre des tailles de systèmes accentuant les économies d'échelle. A l'inverse, seuls 3 % de l'emprise de toiture du tissu ancien du Marais peuvent accueillir des petites installations, avec un gisement diminué par les nombreuses émergences et variations de hauteur. Les toitures terrasses des immeubles des années 1950-1970, que l'on pourrait intuitivement penser dégagées, sont encombrées de cheminées et autres gaines techniques et ne disposent que d'environ 5 % de toiture installable. Les maisons du tissu pavillonnaire ont des toitures à deux pans, à la géométrie simple, et sont moins impactées par les masques proches du fait de l'homogénéité des hauteurs bâties et des distances entre construction plus importantes: 10 % de leurs toitures sont installables en moyenne.

Les productivités obtenues sur les zones potentielles identifiées par le modèle sont proches dans toutes les typologies, à environ 900 kWh/kWc (solaire photovoltaïque) ou 400 kWh/m² (solaire thermique), correspondant à un coût actualisé de l'électricité ou de la chaleur produite, s'échelonnant respectivement de 20 à 22 c€/kWh et 16 à 19 c€/kWh. Dans le cas du photovoltaïque, les coûts ont évolué rapidement à la baisse depuis 2015, année de l'étude, les coûts indiqués ici sont donc très certainement surestimés dans les conditions actuelles.

Considérer l'installation de sources d'énergies renouvelables décentralisées nécessite d'établir une comparaison entre l'offre en kWh solaires produits et la demande en électricité et en chaleur des bâtiments qui accueillent les panneaux. Si l'offre dépend au premier ordre de la surface d'emprise de toiture, puis de la part de toiture installable, la demande dépend, elle, de l'emprise du bâtiment et de son nombre d'étages: la densité détermine donc de manière prépondérante l'équilibre entre ces deux paramètres. Alors que les entrepôts, avec leurs vastes toitures dégagées d'un seul étage, permettraient de produire 36 kWh d'électricité par mètre carré de plancher, les anciens immeubles du Marais, avec leurs toitures étriquées et leurs 4 à 5 étages, produiraient moins de 1 kWh par mètre carré de plancher, ne couvrant qu'environ 1 à 2 % de la consommation d'électricité.

Entrepôts

1

Haussmann

2

HBM

3

Ivry 1950

4

Ivry 1970

5

Marais

6

Pavillons

7

ZAC

8

1-8 Les huit typologies étudiées pour l'analyse du potentiel solaire des toitures du Grand Paris.

	Potentiel d'intégration Emprise de toiture installable (%)	Solaire photovoltaïque Rendement solaire PV (kWh_{elec}/m^2_{SU})	Solaire thermique Rendement solaire thermique (kWh_{th}/m^2_{SU})
Entrepôt	17 %	36	96
Z.A.C.	11 %	2.4	5.9
Pavillonnaire	10 %	9.9	25
Haussmannien	9 %	2.9	7.1
Immeuble - 1950	7 %	2.9	7.3
Immeuble - 1970	3 %	1.8	4.7
H.B.M.	3 %	0.9	2.4
Marais	3 %	0.6	1.6

9

9 Les principaux résultats de l'étude sont résumés dans le tableau pour les huit typologies étudiées: surface exploitable, rendements moyens et production énergétique par mètre carré de surface utile.

PARIS, VILLE SOLAIRE?

Les résultats obtenus pour chaque typologie de tissu, extrapolés à l'échelle métropolitaine, ont permis d'ajouter 900 000 m² à la première estimation de l'APUR, portant le potentiel total du territoire à 2.1 mio de m²[3]: après Paris ville lumière, Paris ville solaire? La stratégie de neutralité carbone élaborée par Elioth pour la ville de Paris en 2016 proposait d'atteindre 2.5 mio de m², en imaginant une évolution des règles d'implantation en toiture et la sollicitation de nouvelles surfaces, sur les infrastructures notamment[4].

Le travail présenté ici n'explore pas la possibilité d'intégrer un critère de « criticité » de l'intégration architecturale en plus des aspects techniques, économiques et environnementaux, comme le propose l'approche développée par Munari Probst et Roecker pour l'outil LESO-QSV[5]: d'où verrait-on les panneaux? Le bâtiment ou son quartier présentent-ils un aspect particulièrement sensible? Si un modèle numérique ne peut pas juger de la qualité architecturale, il pourrait tout à fait être utilisé pour fournir des éléments d'aide à la décision: zones de co-visibilité, proximité à certains monuments, inclusion dans une zone de sauvegarde du patrimoine.

Grâce à la mise à disposition de données précises sur la morphologie du bâti et l'application des outils de calcul numérique, de nombreuses opportunités d'application de la méthode se présentent donc désormais pour alimenter les stratégies énergétiques des acteurs du territoire et mettre l'information du potentiel technico-économique des toitures directement à disposition de leurs propriétaires. La méthode proposée ici est généralisable à tout type de territoire et de tissu urbain, et permet d'obtenir des estimations précises et actionnables à l'échelle du pan de toiture: quels quartiers et quels types de bâtiments devraient être investis en priorité pour produire une énergie peu coûteuse et à faible contenu carbone? Quel serait l'effet d'une modification du Plan Local d'Urbanisme, une possibilité de surélévation des panneaux par exemple, sur le gisement disponible?

1 APUR, 2015. Paris: un Plan Local de l'Energie. Adaptation au changement climatique et scénarios pour la transition énergétique.
2 Ménard, R., Brocato, M., 2014. Ignis Mutat Res. *Penser l'architecture, la ville et les paysages au prisme de l'énergie. Rapport de l'équipe Reforme.* www.solar-reforme.org/wp-content/uploads/2014/06/140430_Reforme_IMR_rapport-final_1.02_4_ME.pdf
3 Analyse du potentiel solaire. Toitures du Grand Paris 2015. https://issuu.com/elioth_groupeegis/docs/150502-apur-etude-integration-solai
4 Elioth, Quattrolibri, Egis Conseil, Mana, 2016. Paris change d'ère. Vers la neutralité carbone en 2050. http://paris2050.elioth.com/pdf/170306%20-%20Paris%20Neutre%20Carbone%20-%20Rapport%20Complet_LD.pdf
5 Probst, M., Roecker, C., 2015. Solar Energy Promotion & Urban Context Protection: LESO-QSV (Quality-Site-Visibility) Method, in: PLEA Conf.