

NOTE RAPIDE

DE L'INSTITUT D'AMÉNAGEMENT ET D'URBANISME - ÎLE-DE-FRANCE N° 789



Arnaud Bouissou/Terra

ÉNERGIE-CLIMAT

Octobre 2018 • www.lau-ldf.fr

LE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE : UNE ÉNERGIE AUJOURD'HUI MOINS CHÈRE ET PLUS RENTABLE

STRATÉGIE ÉNERGIE-CLIMAT DE LA
RÉGION ÎLE-DE-FRANCE D'ICI À 2030

-20%

C'EST LA RÉDUCTION DE LA FACTURE
ÉNERGÉTIQUE RÉGIONALE PRÉVUE
D'ICI À 2030.

40%

C'EST LA PART DES ÉNERGIES
RENOUVELABLES À INTÉGRER DANS
LA CONSOMMATION RÉGIONALE
(CONTRE 11% AUJOURD'HUI).

x 2

LA QUANTITÉ D'ÉNERGIE
RENOUVELABLE PRODUITE
EN ÎLE-DE-FRANCE
(NOTAMMENT GRÂCE AU SOLAIRE
ET À LA MÉTHANISATION).

ALORS QUE L'ÉNERGIE SOLAIRE CONNAÎT UN ESSOR INTERNATIONAL, ELLE PEINE À TROUVER SA PLACE DANS LE BOUQUET ÉNERGÉTIQUE FRANÇAIS. LES DÉFIS ARCHITECTURAUX, TECHNIQUES, FINANCIERS, ETC., SONT CERTES MULTIPLES POUR CE SEGMENT ÉNERGÉTIQUE. UN NOUVEAU CONTEXTE LÉGISLATIF ET UNE STRATÉGIE ÉNERGIE-CLIMAT RÉGIONALE DEVRAIENT ACCÉLÉRER ET ANCRER LE DÉVELOPPEMENT DE LA FILIÈRE PHOTOVOLTAÏQUE, AUJOURD'HUI TECHNIQUEMENT ET ÉCONOMIQUEMENT MATURE.

Les chiffres du développement de la filière solaire photovoltaïque (encadré Définitions p.4) pour la production d'électricité montrent un retard très important en Île-de-France. En 2017, la puissance installée était de 7 689 mégawatts (MW) en France, dont 89 MW en région pour le photovoltaïque, ce qui la situe au dernier rang des régions françaises. Contrairement à une idée reçue, l'espace ne manque pas en Île-de-France et le potentiel de développement est très élevé. Le schéma régional climat, air, énergie francilien (SRCAE) prévoit une puissance installée de 470 MW d'ici à 2020. Pour atteindre cet objectif, il faudra miser sur de nouvelles démarches de projets, plus locales, centrées sur les potentiels réels des territoires et recourir à l'innovation. Cette volonté est aujourd'hui appuyée par le conseil régional d'Île-de-France, qui vise, dans sa stratégie énergie-climat votée en juillet 2018, une multiplication par 60 des objectifs de production annuelle pour atteindre le niveau de 6 000 MWh/an en 2030, soit l'équivalent de la production annuelle de 1 500 éoliennes de taille standard.

L'ÉNERGIE SOLAIRE, UNE DÉMARCHE DE CIRCUIT COURT ÉNERGÉTIQUE

Comme toutes les énergies renouvelables, l'énergie solaire photovoltaïque a la caractéristique d'être produite localement et de manière décentralisée. D'un point de vue physique, les électrons produits sont consommés au plus proche des lieux de production. D'un point de vue économique, l'émergence d'entreprises locales, participatives et citoyennes, qui développent et financent ces projets, permet d'accroître les retombées locales, qu'elles soient économiques ou sociales.

Plusieurs dimensions plaident pour un développement massif des projets solaires photovoltaïques. Sur le plan écologique, la ressource est inépuisable et l'impact est moindre sur l'environnement, comparé aux énergies fossiles ou fissiles (nucléaires). L'énergie solaire permet de réduire considérablement



1

Générale du Solaire



2

STUDIO U pour SOPREMA Entreprises

1. La centrale solaire de Sourdun (77) produit de l'électricité pour l'équivalent de la consommation d'une ville de 2000 habitants.
2. Le réservoir de l'Haÿ-les-Roses, (94) détenu par Eau de Paris, est équipé de la plus grande centrale photovoltaïque francilienne sur toiture.
3. Réhabilitée par Françoise-Hélène Jourda, la halle Pajol (Paris 18^e) est devenue un bâtiment à énergie positive abritant une auberge de jeunesse.
4. L'immeuble de bureaux à énergie positive Solaris, à Clamart : panneaux photovoltaïques, géothermie, réseau hydraulique innovant pour la chaleur et le rafraîchissement du bâtiment utilisation des eaux de pluie, etc.

QU'EST-CE QUE LE CADASTRE SOLAIRE ?

Le principe du cadastre solaire est de croiser l'irradiation solaire et la configuration spatiale d'un territoire (architecture des bâtiments, agencement, contraintes architecturales et paysagères, facilité des raccordements au réseau de distribution, etc.) pour mettre en valeur des zones à fort potentiel et un réseau d'acteurs capables de faciliter l'émergence des projets. L'exploitation de l'énergie solaire devient ainsi une composante à part entière et indissociable de la planification urbaine. Cette démarche est reprise par de nombreuses municipalités qui mettent à disposition de leurs services techniques, des maîtres d'ouvrage potentiels, et de leurs habitants un cadastre solaire.

les émissions de gaz à effet de serre. Bien calibrée, l'électricité photovoltaïque s'intègre parfaitement dans les réseaux de distribution et de transport d'électricité. Associé à la mobilité électrique, le solaire réduit aussi l'importation d'énergie fossile. Sur le plan économique, l'énergie solaire est créatrice de richesses locales. Les projets se déroulent en cinq étapes : étude, développement, réalisation, exploitation et fin de vie. Leur ancrage territorial permettra d'accroître les bénéfices économiques grâce à la création d'emplois non délocalisables, tout en renforçant le tissu économique local et régional. Les domaines de compétences impactés sont nombreux : droit, finance, assurance, ingénierie, installation, exploitation, etc. Par ailleurs, en cas de production d'électricité photovoltaïque sur leur territoire, les collectivités percevront la contribution économique territoriale (CET) et l'impôt forfaitaire sur les entreprises de réseaux (Ifer) pour les installations d'une puissance de plus de 100 kilowatts-crête (kWc)¹.

LE CADRE D'ACTION DES COLLECTIVITÉS

Pour impulser des projets photovoltaïques, les collectivités peuvent intervenir à différents niveaux :

- faciliter leur émergence par la définition de stratégie locale de développement, aider à la structuration des projets ou réaliser des études de potentiel (cadastre solaire, encadré ci-contre, etc.) ;
- développer des projets en étant maître d'ouvrage sur leur patrimoine, mettre à disposition du foncier public, ou accompagner techniquement les porteurs de projets ;
- accompagner financièrement par l'apport de capitaux dans les sociétés de projets de manière directe ou indirecte, flécher des sources de financement européen, investir *via* des fonds spécifiques (Oser en région Auvergne-Rhône-Alpes, par exemple), développer des dispositifs dédiés (subventions, avances remboursables, appels à manifestations d'intérêt, etc.) ;
- sensibiliser et communiquer autour des projets solaires photovoltaïques pour les légitimer et leur donner de la visibilité.

DES MODÈLES ÉCONOMIQUES QUI ÉVOLUENT AU PLUS PRÈS DES BESOINS

L'équipement de panneaux photovoltaïques offre plusieurs possibilités : revendre la totalité de la production ou la consommer de manière individuelle ou collective.

La vente totale de la production électrique

La vente totale est le cas le plus courant. La totalité de la production du système photovoltaïque est injectée sur le réseau de distribution ou de transport d'électricité. La production est ainsi décorrélée des besoins électriques du bâtiment ou de la parcelle où il est installé. Pour la tarification, le législateur a défini des modalités de rétribution qui sont fonction de la puissance de l'installation et de son implantation (tableau page suivante). Dans le cas des appels d'offres, seuls les dossiers qui répondent aux exigences des cahiers des charges et proposent les tarifs d'achat les plus bas sont sélectionnés. À noter que pour chaque appel d'offres, un volume global national limite le nombre de projets sélectionnés.

Parmi les implantations emblématiques en région francilienne :

- la centrale solaire au sol de Sourdun (4,5 MWC) (77) ;
- 11 800 m² installés sur le toit du réservoir d'eau potable d'Eau de Paris à L'Haÿ-les-Roses (94) ;
- une centrale solaire de plus de 3 200 m² au cœur de Paris, sur l'ancienne halle ferroviaire, dans la ZAC Pajol, véritable prouesse technique ;
- en cours de construction, le parc photovoltaïque de Meaux (77), 10 ha, 17 MWC.

L'autoconsommation : adapter la production aux besoins en électricité

La Direction générale de l'Énergie et du Climat (DGEC) définit l'autoconsommation « comme le fait de consommer tout ou partie de l'énergie que l'on produit » [DGEC, 2014]. D'abord réservée aux consommateurs trop éloignés du réseau de distribution, elle s'est peu à peu développée sur des sites industriels, tertiaires et agricoles. Les récentes évolutions législatives et l'accroissement de la



compétitivité au sein de la filière photovoltaïque laissent entrevoir de nouveaux développements pour l'autoconsommation, individuelle et collective.

Dans l'**autoconsommation individuelle**, le bâtiment consomme directement l'électricité produite. Les taux de valorisation sont très variables. Dans le secteur tertiaire, il peut dépasser 95 % pour certaines ombrières solaires d'hypermarchés. En revanche, dans le secteur résidentiel, ce taux n'excède généralement pas les 20 %. Le surplus de production est injecté dans le réseau de distribution ou de transport de l'électricité, et peut être valorisé financièrement auprès d'un opérateur tiers. Les règles diffèrent selon la puissance installée.

La corrélation entre la courbe de production et le profil de consommation du site est essentielle pour assurer la rentabilité de l'opération. Les intérêts sont nombreux, en premier lieu pour le maître d'ouvrage qui pourra réduire sa facture d'électricité. Ce type d'autoconsommation connaît un essor important dans le secteur tertiaire privé, mais également sur les équipements publics.

L'**autoconsommation collective** est une nouvelle perspective pour la filière solaire. Encadrée notamment par l'ordonnance n° 2016-1019 du 27 juillet 2016 et le décret n° 2017-676 du 28 avril 2017 relatifs à l'autoconsommation d'électricité, elle est définie comme « la fourniture d'électricité (...) entre un ou plusieurs producteurs, et un ou plusieurs consommateurs finals liés entre eux au sein d'une

personne morale et dont les points de soutirage et d'injection sont situés sur une même antenne basse tension du réseau public de distribution³ ».

Dans ce cadre, plusieurs éléments importants sont à prendre en compte :

- le groupement : le cadre juridique de l'opération d'autoconsommation renvoie à la notion de groupement des producteurs et des consommateurs. La coopérative ou l'association sont les structures juridiques se prêtant le mieux à ces projets ;
- le périmètre du projet : l'ordonnance le restreint en précisant que l'opération doit se dérouler sur la même antenne basse tension du réseau de distribution, c'est-à-dire en aval du poste de transformation ;
- la tarification : le tarif d'utilisation des réseaux publics d'électricité (Turpe) doit encore être fixé par la Commission de régulation de l'énergie (CRE).

Les premières expérimentations lancées en 2017 permettront de clarifier ces questions juridiques et le rôle des différents acteurs, comme par exemple celui des organismes de gestion du réseau de distribution de l'électricité. En Île-de-France, la densité des équipements et le foisonnement des consommateurs favorisent l'expérimentation de l'autoconsommation collective. Concrètement, il s'agira de combiner les apports du réseau électrique et ceux des sources de production locales pour trouver le meilleur équilibre financier, ou résoudre des problèmes d'ordre technique comme la saturation d'un poste source.

LE SOLAIRE THERMIQUE : UN MARCHÉ EN PLEINE MUTATION

Le bilan pourrait sembler négatif à première vue [Observ'ER, 2017] : le solaire thermique (encadré Définitions p.4) vendu annuellement a reculé, passant de 195 239 m² en 2014 à 118 280 m² en 2016, une tendance confirmée en 2017. Toutefois, une relance semble s'amorcer.

Certains constructeurs proposent en effet aujourd'hui des offres complètes de conception, réalisation, exploitation et maintenance des systèmes, en y incluant des garanties de performance. Des développements possibles apparaissent comme la connexion avec des réseaux de chaleur pour injecter leur production. Notons l'exemple francilien du réseau de chaleur des quartiers des Temps durables et Pasteur à Limeil-Brevannes. La complémentarité avec les autres systèmes de production de chaleur, leur bon dimensionnement, la gestion des surchauffes et l'équilibrage des réseaux, restent les clés pour développer des systèmes performants. L'émergence des bâtiments à énergie positive (Bepos) et l'hybridation du solaire thermique avec le solaire photovoltaïque peuvent ouvrir de nouveaux horizons à cette filière.

Typologie des appels d'offres d'achat de l'électricité photovoltaïque (vente totale de la production)

	L'obligation d'achat par l'État	Appel d'offres bâtiment	Appel d'offres bâtiment	Appel d'offres parc au sol
Seuil de puissance	< 100 kWc*	de 100 à 500 kWc.	de 500 kWc à 8 MWc.	de 500 kWc à 17 MWc.
Dispositif contractuel de la rémunération	Contrat d'achat avec tarif d'achat fixé par l'État.	Contrat d'achat avec prix d'achat proposé par le candidat.	Contrat de complément de rémunération avec la CRE**.	Contrat de complément de rémunération avec la CRE.
Modalités	Selon arrêté tarifaire.	Selon cahier des charges.		Selon cahier des charges.

* Une puissance de 100 kilowatts-crête (kWc) équivaut à une surface de 600 m² de panneaux photovoltaïques. (Source : <http://www.photovoltaique.info/-Tarif-d-achat-.html>). ** Commission de régulation de l'énergie.

LE DIGITAL, UN MOTEUR DE DÉVELOPPEMENT POUR LA FILIÈRE PHOTOVOLTAÏQUE

La production d'énergie solaire est en train de vivre une révolution. Outre la baisse continue des coûts de production (baisse du coût de fabrication du panneau photovoltaïque, économie d'échelle sur la production, etc.), l'intégration du digital permet d'envisager de nouvelles possibilités pour des utilisations décentralisées, décarbonnées et durables.

La sécurisation et l'échange des informations, pierre angulaire des futurs systèmes électriques

La *blockchain*, « technologie de stockage et de transmission d'informations, transparente, sécurisée, et fonctionnant sans organe central de contrôle »⁴, trouve de nombreuses applications dans le domaine de l'énergie. Appliquée aux opérations d'autoconsommation collective, cette technologie permettra de garantir et d'échanger les niveaux réels de consommation ou de production. Il sera donc possible de mettre en place un système de facturation fondé sur ces niveaux réels, plutôt que sur les estimations actuelles.

Vers une mobilité « solaire »

Il existe une convergence importante avec la mobilité électrique. À l'image des garanties d'origine appliquées pour la production de biométhane (traçabilité et garantie d'origine de source renouvelable), les nouvelles technologies permettront dans le futur d'attester la traçabilité des électrons produits à partir de structures photovoltaïques et de les « réinjecter » lors de la recharge d'un véhicule électrique sur borne. Les capacités de stockage des véhicules électriques permettront de s'affranchir en partie de l'intermittence de production et de faciliter l'intégration de la production sur le réseau. La CRE estime que « l'arrivée des véhicules électriques est un élément clé dans la gestion du réseau électrique. Une voiture est inutilisée 95 % de son temps de vie et l'utilisation moyenne d'un véhicule électrique nécessitera moins de 80 % de la capacité de la batterie pour les trajets quotidiens. Il sera donc possible pendant les périodes où le véhicule sera branché au réseau électrique d'utiliser l'électricité stockée pour l'injecter sur le réseau en période de forte demande ou, inversement, de charger la batterie du véhicule en heures creuses. Il s'agit du concept du *vehicle-to-grid*, ou V2G, qui consiste à utiliser les batteries des véhicules électriques comme une capacité de stockage mobile. »⁵

L'expérimentation des concepts de *smart grids* et *smart city* permettent d'envisager la mise en œuvre de ces nouveaux principes. Il est aussi utile d'envisager ces systèmes de micro-réseaux comme un outil d'adaptation au changement climatique. En effet, l'ilotage des réseaux pourrait être une réponse en cas d'événements climatiques majeurs. ■

Lionel Guy, chef de projet efficacité énergétique et énergies renouvelables
département Énergie climat ARENE (Christelle Inseguieux, directrice)

LE PROGRAMME « PLACE AU SOLEIL »

Le ministère de la Transition écologique et solidaire a lancé en 2018 un plan de libération des énergies renouvelables autour de l'éolien, de la méthanisation et du solaire. Il vise ainsi à accélérer le développement du solaire thermique (encadré Définitions ci-contre) et photovoltaïque autour de trois axes : à la maison ; dans les territoires en métropole, en outre-mer et en Corse ; à la ferme. Dans un contexte de baisse des coûts qui tutoie aujourd'hui les prix de marché à 55 €/MWh pour les grandes surfaces de production, et une prévision du doublement des raccordements en 2018, par rapport à 2017, l'enjeu est de mobiliser l'ensemble des acteurs de la filière.

Pour le photovoltaïque, le plan gouvernemental a défini une série de mesures et donné des prévisions de volumes d'appels d'offres augmentés. Le but est d'accélérer la croissance de la filière, le développement des nouveaux modèles

économiques et la mobilisation des détenteurs de grands fonciers artificialisés inutilisés. Notons ainsi le renouvellement de l'exonération de la contribution au service public de l'électricité (CSPE) ; l'élargissement du périmètre de l'autoconsommation collective pour que producteurs et consommateurs soient situés dans un rayon d'un km ; la possibilité d'intégrer un tiers investissement dans les projets individuels et collectifs ; le lancement d'un appel d'offres dédié aux opérations collectives. Certaines mesures concernent directement les collectivités avec la création des labels Ville solaire, Département solaire, et d'un réseau dédié. La simplification de dispositifs du code de l'urbanisme est prévue pour faciliter le développement sur les parkings et les serres solaires, et aussi l'augmentation des volumes des appels d'offres pour « l'agrivoltaïsme » (synergie entre production solaire et production agricole) et les toitures agricoles.

1. Le kilowatt-crête (ou kWc) est une unité de mesure utilisée pour évaluer la puissance maximale atteinte par une installation solaire photovoltaïque lorsqu'elle est exposée à un rayonnement solaire optimal.
2. « L'autoconsommation peut être définie comme le fait de consommer tout ou partie de l'énergie que l'on produit, et l'autoproduction comme le fait de produire tout ou partie de l'énergie que l'on consomme » [DGEC, 2014].
3. Ordonnance n° 2016-1019 du 27 juillet 2016.
4. Définition de Blockchain France.
5. <http://www.smartgrids-cre.fr>

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Fouad Awada

DIRECTRICE DE LA COMMUNICATION

Sophie Roquelle

RÉDACTION EN CHEF

Isabelle Barazza

MAQUETTE

Jean-Eudes Tilloy

MÉDIATHÈQUE/PHOTOTHÈQUE

Julie Sarris

FABRICATION

Sylvie Coulomb

RELATIONS PRESSE

Sandrine Kocki

sandrine.kocki@iau-idf.fr

IAU île-de-France

15, rue Falguière
75740 Paris Cedex 15
01 77 49 77 49

ISSN 1967-2144

ISSN ressource en ligne
2267-4071



www.iau-idf.fr



RESSOURCES

- Guy Lionel, *Conditions de développement des projets d'énergie renouvelable participatifs et citoyens en Île-de-France*, ARENE, septembre 2016.



- Joffre André, *Rapport sur l'autoconsommation et l'autoproduction de l'électricité renouvelable*, Direction générale de l'énergie et du climat (DGEC), décembre 2014.
- Observ'ER, *Suivi du marché 2016 des applications solaires individuelles thermiques, 2017*.
- Ordonnance n° 2016-1019 du 27 juillet 2016 et décret n° 2017-676 du 28 avril 2017 relatifs à l'autoconsommation d'électricité.
- Quinette Jean-Yves, *Guide pour la réalisation de projets photovoltaïques en autoconsommation dans les secteurs tertiaire, industriel et agricole*, Ademe, Tecsol, juillet 2017.

Sur le site de l'IAU îdF

Rubrique Environnement : analyses, débats, rencontres, études et publications, cartes interactives.
Rubrique Énergie et climat (ARENE).

DÉFINITIONS

Solaire thermique : l'énergie solaire thermique consiste à capter l'énergie thermique du rayonnement solaire grâce à un capteur solaire afin d'échauffer un fluide (liquide ou gaz) et de l'utiliser de manière directe ou indirecte.

Solaire photovoltaïque : l'énergie solaire photovoltaïque est obtenue par la transformation d'une partie de l'énergie du rayonnement solaire en électricité grâce à des panneaux équipés de cellules photovoltaïques.



INSTITUT
D'AMÉNAGEMENT
ET D'URBANISME

