

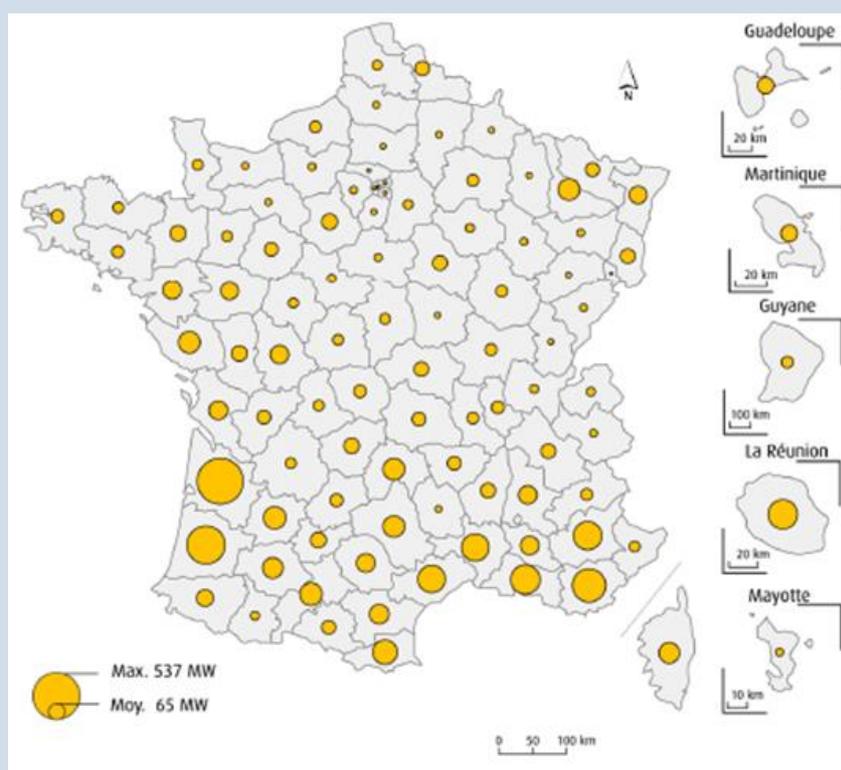


**ADEME**



Agence de  
l'Environnement  
et de la Maîtrise  
de l'Energie

# Le photovoltaïque en France en 2015



**PVPS**

**PHOTOVOLTAIC  
POWER SYSTEMS  
PROGRAMME**

**Prepared by ADEME**

**Coordination technique**

**Paul Kaaijk et Yvonnick Durand – ADEME/SRER,  
Sophia Antipolis**

**June 2016**

VERSION FRANÇAISE  
du rapport rédigé pour le Programme photovoltaïque de l'Agence internationale de l'énergie

*National Survey Report of Photovoltaic Power Applications in France 2015*  
*Prepared for*  
*The INTERNATIONAL ENERGY AGENCY*  
*COOPERATIVE PROGRAMME ON PHOTOVOLTAIC POWER SYSTEMS*  
*by*  
*ADEME*  
*(French Agency for Environment and Energy Management)*

Coordination technique : Paul Kaaijk et Yvonnick Durand – ADEME/SRER, Sophia Antipolis

Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par AC Consultant  
Contrat n°1505C0044

Juin 2016

Les informations contenues dans ce rapport peuvent être utilisées librement à condition de mentionner la source :

« Le photovoltaïque en France en 2015, ADEME pour IEA PVPS, juin 2016 ».

## SOMMAIRE

Avant-propos .....	3
Introduction .....	4
1 Installations photovoltaïques 2015.....	5
1.1 Applications photovoltaïques.....	5
1.1.1 Catégories de systèmes analysés.....	5
1.1.2 Sources statistiques.....	6
1.2 Puissance photovoltaïque installée .....	6
1.2.1 Puissance installée en 2015 .....	6
1.2.2 Photovoltaïque et marché de l'énergie .....	8
1.2.3 Puissance PV cumulée fin 2015.....	9
2 Compétitivité de l'électricité PV.....	11
2.1 Prix des modules PV .....	11
2.2 Prix des systèmes .....	11
2.3 Répartition des coûts des installations.....	12
3 Politique de soutien .....	12
3.1 Mesures directes.....	12
3.1.1 Tarifs d'achat .....	13
3.1.2 Appels d'offres nationaux.....	14
3.1.3 Appels à projets des collectivités territoriales .....	16
3.1.4 Mesures pour l'autoconsommation .....	17
3.1.5 Mesures pour l'intégration du PV au bâtiment.....	17
3.1.6 Mesures pour l'électrification rurale.....	17
3.1.7 Mesures pour le stockage décentralisé .....	17
3.1.8 Mesures de soutien supprimées en 2015.....	17
3.1.9 Nouvelles mesures de soutien mises en œuvre en 2015 .....	18
3.1.10 Mesures actuellement discutées mais non encore appliquées.....	18
3.1.11 Financement et coût des mesures de soutien.....	18
3.2 Politiques indirectes .....	19
3.2.1 Politiques internationales .....	19
3.2.2 Introduction de réglementations environnementales .....	20
3.2.3 Politiques visant à promouvoir le PV dans des pays non-AIE.....	20
4 R&D et budgets .....	21
4.1 Faits marquants de la R&D .....	21
4.1.1 Agences.....	21
4.1.2 Équipes de recherche .....	22
4.2 Budgets publics R&D .....	23
5 Activité industrielle.....	23

5.1	Matériaux, lingots et plaques de silicium cristallin.....	23
5.1.1	Matière première silicium .....	23
5.1.2	Lingots et plaques de silicium .....	24
5.2	Production de cellules et de modules photovoltaïques .....	24
5.2.1	Cellules photovoltaïques au silicium cristallin.....	25
5.2.2	Cellules photovoltaïques à concentration.....	25
5.2.3	Modules photovoltaïques .....	25
5.2.4	Suiveurs solaires.....	26
5.2.5	Recyclage des produits.....	26
5.3	Autres composants.....	26
6	Photovoltaïque dans l'Économie.....	27
6.1	Emplois .....	27
6.2	Valeur de marché.....	27
7	Intérêt des acteurs de l'électricité.....	27
7.1	Structure du système électrique .....	27
7.2	Compagnies d'électricité .....	28
7.2.1	Groupe EDF.....	28
7.2.2	Groupe ENGIE.....	28
7.2.3	Autres compagnies et producteurs ER.....	28
7.3	Collectivités territoriales .....	28
8	Normes et Qualifications.....	28
8.1	Normes .....	28
8.2	Guides techniques.....	29
8.3	Certification et qualification.....	29
9	Conclusion et perspectives .....	30

## AVANT-PROPOS

Ce rapport s'inscrit dans un travail collectif mis en œuvre par le programme de coopération de l'Agence internationale de l'énergie sur l'électricité solaire photovoltaïque (IEA PVPS).

Le rapport est présenté par le Service des réseaux et des énergies renouvelables de l'ADEME. Il est rédigé pour un lectorat international selon un plan prédéfini par les participants au groupe de travail n° 1 (*Task 1*) de l'IEA PVPS. La version anglaise, dont ce rapport en français est une adaptation, est disponible sur le site [www.iea-pvps.org](http://www.iea-pvps.org).

**L'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME)** est un établissement public à caractère industriel et commercial, placé sous la tutelle conjointe du ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer\*, et du ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.

L'ADEME participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale, l'Agence met ses capacités d'expertise et de conseil à la disposition des entreprises, des collectivités territoriales, des pouvoirs publics et du grand public. Elle aide au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre, dans ses domaines d'intervention : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.

L'ADEME, au nom du gouvernement, est signataire de l'accord de coopération IEA PVPS et participe de ce fait au comité directeur du programme PVPS et aux travaux du groupe de travail n° 1 par le biais de son Service des réseaux et des énergies renouvelables.

[www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)

**L'Agence internationale de l'énergie (AIE/IEA)**, fondée en novembre 1974, est un organisme autonome dans le cadre de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) qui effectue un important programme de coopération avec ses pays membres sur les questions de l'énergie.

Le programme de R&D sur les systèmes photovoltaïques (IEA PVPS), est l'un des projets de coopération internationale mis en place dans le cadre de l'AIE. Depuis 1993, ses participants mènent des études à coûts partagés dans le domaine des applications de la conversion photovoltaïque de l'énergie solaire.

Une vingtaine de pays et d'organisations participent au programme IEA PVPS. La liste est disponible sur le site internet du programme.

Le programme PVPS (*Photovoltaic power systems*) est piloté par un comité directeur (*Executive committee*) composé d'un représentant de chaque pays ou organisation participante, et la gestion des différents groupes de travail (*Tasks*) est placée sous la responsabilité d'un animateur (*operating agent*). Les informations sur les travaux en cours sont disponibles sur le site de l'IEA PVPS.

[www.iea-pvps.org](http://www.iea-pvps.org).

\*NOTE - En février 2016, le ministère responsable des affaires relatives à l'environnement et à l'énergie a changé de nom pour s'intituler : ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer. La nouvelle dénomination est retenue dans ce rapport et apparaîtra dans le texte sous le nom simplifié de ministère de l'Environnement.

## INTRODUCTION

Ce rapport a été préparé dans le cadre d'une étude internationale entreprise par le programme de coopération IEA PVPS sur les systèmes photovoltaïques. Chaque pays participant au programme produit son propre état des lieux national (*National Survey Report, NSR*) en suivant un guide commun de rédaction. Le groupe de travail n° 1 de l'IEA PVPS (*Task 1*) en charge de la coordination de cet exercice, pilote l'échange et la diffusion de l'information relative au programme PVPS.

Les données extraites de l'ensemble des rapports nationaux *NSR* conduisent à une synthèse annuelle publiée sous le titre *Trends in photovoltaic applications* disponible sur le site [www.iea-pvps.org](http://www.iea-pvps.org).

Le rapport national établi pour la France sous la responsabilité de l'ADEME propose un examen complet des activités photovoltaïques en 2015. Il décrit les mesures de soutien, l'état actuel du marché et ses aspects économiques. Il présente également la situation de l'industrie photovoltaïque et des programmes de R&D. Les informations contenues dans le rapport concernent l'année 2015.

Les principales sources d'information utilisées pour ce rapport sont les suivantes : statistiques du Commissariat général au développement durable (SOeS), rapports et études de l'ADEME, rapports et études des syndicats professionnels SER et ENERPLAN, publications d'Observ'ER/Systèmes solaires, magazine Plein Soleil, sites internet institutionnels et professionnels, données de fournisseurs d'équipements, publications et communiqués d'industriels, plaquettes événementielles et contacts avec les professionnels du domaine.

## RÉFÉRENCES

- [1] - Tableau de bord photovoltaïque, SOeS, n° 732, février 2016, n° 765, mai 2016 (Service de l'observation et des statistiques, ministère de l'Environnement).
- [2] - Atlas 2015 des grandes centrales PV > 1 MW, Observ'ER, Journal du photovoltaïque n° 14, novembre 2015.
- [3] - Panorama de l'électricité renouvelable en 2015, RTE, SER, ERDF et ADEeF, janvier 2016.
- [4] - Bilan électrique 2015, RTE, février 2016.
- [5] - Annuaire des adhérents, Syndicat des énergies renouvelables 2015, SER, novembre 2015.
- [6] - Filière photovoltaïque française : Bilan, perspectives et stratégie. Étude réalisée par I Care/E-Cube/In Numeri pour l'ADEME, septembre 2015.
- [7] - Un mix électrique 100 % renouvelable ? Analyses et optimisations, ADEME, octobre 2015.
- [8] - Photovoltaïque et collectivités territoriales – Guide pour une approche de proximité, ADEME, octobre 2014.
- [9] - Marchés et emplois liés aux ENR. Étude réalisée par In Numeri pour l'ADEME, communication privée, mars 2016.
- [10] - Rapport sur l'autoconsommation et l'autoproduction de l'électricité renouvelable, décembre 2014, ministère de l'environnement/DGEC.
- [11] - Étude du cadre législatif et réglementaire applicable au financement participatif des énergies renouvelables, ADEME, 2015.

NOTE - Ce rapport est une adaptation en français du rapport NSR France 2015 rédigé en premier lieu en langue anglaise et disponible sur [iea-pvps.org](http://iea-pvps.org).

# 1 INSTALLATIONS PHOTOVOLTAÏQUES 2015

Le marché des systèmes photovoltaïques (PV) analysé dans ce rapport concerne toutes les applications photovoltaïques terrestres installées en France avec une puissance unitaire supérieure à 1 kW.

Les systèmes photovoltaïques sont constitués de composants électriques et électrotechniques : les modules photovoltaïques exposés au rayonnement solaire constituent le cœur du générateur d'énergie électrique (les modules sont montés en panneaux, chaînes et groupes), les onduleurs transforment le courant continu issu des groupes photovoltaïques en courant alternatif adapté à son application. Les batteries électrochimiques stockent l'énergie électrique pour toutes les utilisations où cela est nécessaire. D'autres éléments d'installation et de dispositifs de contrôle et de sécurité complètent les systèmes.

Les systèmes photovoltaïques pris en compte dans les statistiques de ce rapport ont été installés au cours de l'année calendaire 2015.

Les principales grandeurs physiques considérées ici sont la puissance des systèmes photovoltaïques (W) et l'énergie délivrée (kWh). La puissance unitaire d'un système photovoltaïque (courant continu) est égale à la somme des puissances STC de tous les modules photovoltaïques qui le constituent. En France, un système photovoltaïque de un kilowatt produit environ mille kilowattheures d'énergie électrique sur l'année.

NOTE - La puissance d'un module PV est mesurée dans les conditions normales d'essai (STC). Les données de puissance photovoltaïque STC publiées dans ce rapport sont exprimées en watt (W) et ses multiples. Certains professionnels parlent de puissance-crête exprimée en  $W_c$  (en anglais peak-watt,  $W_p$ ). Nous ne retenons pas ici ce terme non normalisé.

## 1.1 Applications photovoltaïques

Les systèmes de production d'énergie électrique par conversion photovoltaïque (PV) de l'énergie solaire sont utilisés en France depuis les années 1980. Les systèmes ont d'abord apporté de l'énergie aux sites non connectés à des réseaux électriques (habitations, fermes, relais de télécommunication...) puis, dès 2002, avec l'introduction des mesures d'obligation d'achat, les systèmes photovoltaïques ont été raccordés au réseau public de distribution d'énergie électrique.

### 1.1.1 Catégories de systèmes analysés

Le rapport analyse trois catégories de systèmes photovoltaïques :

- Système de production **décentralisée raccordée au réseau** public de distribution (*grid-connected distributed*) : installation de production d'énergie électrique sur des bâtiments d'habitation, bâtiments tertiaires, commerciaux, industriels et agricoles ou utilisation dans tout environnement bâti (puissance mise en jeu : du kW au MW).
- Système de production **centralisée raccordée au réseau** (*grid-connected centralized*) : installation de production d'énergie électrique de grande puissance **montée au sol** (puissance supérieure au MW).
- Système de production **hors réseau** public de distribution (*off-grid*) : installation appliquée à l'électrification rurale d'un habitat en site isolé, éloigné du réseau électrique (*off-grid domestic*) ou à l'alimentation d'équipements techniques tels que relais de télécommunication, dispositifs de pompage de l'eau, etc. (*off-grid non-domestic*). Les puissances mises en jeu sont de l'ordre du kW à quelques centaines de kW.

NOTE - Les systèmes hors réseau comprennent une batterie de stockage et éventuellement une source complémentaire d'énergie électrique (groupe thermique, aérogénérateur...).

Aujourd'hui, les systèmes photovoltaïques (PV) installés en France sont pour l'essentiel raccordés au réseau de distribution. Les systèmes photovoltaïques utilisés en dehors du réseau représentaient encore 50 % de la puissance totale opérationnelle fin 2006. Cette application est maintenant marginale.

La volonté du gouvernement de promouvoir le développement de la production d'électricité photovoltaïque s'est concrétisée par la publication d'un arrêté ministériel en 2002 instaurant l'obligation d'achat de l'énergie électrique photovoltaïque à un tarif avantageux pour le producteur. Dès 2006, la stratégie a été de favoriser l'utilisation du photovoltaïque en mode d'intégration au bâtiment. Les critères techniques et non techniques d'intégration IAB et d'intégration simplifiée ISB ont été définis dans l'annexe 2 de l'arrêté du 4 mars 2011 (voir 3.1.5).

### 1.1.2 Sources statistiques

Pour établir les rapports nationaux *NSR*, le plan de travail de l'IEA PVPS demande d'évaluer la puissance PV installée durant l'année calendaire 2015 et d'indiquer la puissance cumulée opérationnelle à la fin de l'année 2015. La puissance installée est divisée selon les trois catégories d'applications : production raccordée au réseau électrique (décentralisée et centralisée) et applications hors réseau (voir 1.1.1.).

#### 1.1.2.1 Systèmes raccordés au réseau

Les données relatives aux systèmes photovoltaïques raccordés au réseau sont extraites des publications du Service de l'observation et des statistiques (SOeS) du Commissariat général au développement durable [1]. Le SOeS analyse les fichiers gérés par les différents opérateurs du réseau de distribution et de transport : ERDF, RTE, EDF-SEI ainsi que les principales entreprises locales de distribution (ELD). Le SOeS donne la répartition détaillée des systèmes selon certaines tranches de puissance et selon les Régions administratives.

D'autres données sont disponibles comme, par exemple, celles publiées par le *Panorama de l'électricité renouvelable 2015* [3]. Les volumes sont un peu différents de ceux proposés par le SOeS notamment parce qu'ils font référence à des estimations de fin d'année et ne tiennent pas compte des départements/régions d'outre-mer (DROM). Cependant quelques informations intéressantes ont été retenues comme les pics de production, les facteurs de charge et l'estimation des taux de couverture.

Pour évaluer la répartition en puissance des deux catégories de systèmes, centralisés et décentralisés, on a fait appel à l'Atlas Photovoltaïque/Observ'ER des installations photovoltaïques de puissance supérieure à 1 MW [2]. L'Atlas identifie les applications photovoltaïques centralisées montées au sol sans couvrir cependant la totalité de l'année calendaire (publication en novembre).

La puissance installée des systèmes décentralisés est le résultat de la différence entre les données globales du SOeS et la puissance estimée des centrales au sol de l'Atlas.

#### 1.1.2.2 Systèmes hors-réseaux

Les installations hors-réseaux d'une puissance supérieure à un kilowatt sont principalement déployées dans les départements/régions d'outre-mer. Les statistiques prennent en compte les nouvelles installations et non le remplacement de modules ou le renforcement de systèmes déjà en place. Les données relatives à l'électrification rurale proviennent des statistiques annuelles du fonds FACE mais les chiffres 2015 n'ont pas été publiés.

## 1.2 Puissance photovoltaïque installée

### 1.2.1 Puissance installée en 2015

La puissance photovoltaïque installée en France en 2015 (métropole et DROM) est estimée à 887 MW (dont 21 MW en outre-mer) [1]. Cette valeur se compare aux 951 MW de 2014 et aux 651 MW de 2013. Les systèmes décentralisés, principalement intégrés au bâti, totalisent 294 MW (33 %) et les systèmes centralisés montés au sol, 593 MW (67 %) [1] [2].

Le volume installé hors réseau en 2015 est estimé à 400 kW. Il s'agit principalement de systèmes hybrides dans le département de Guyane.

Le Tableau 1 présente la puissance annuelle installée dans les trois catégories d'applications (raccordé décentralisé, raccordé centralisé au sol et hors réseau).

**Tableau 1 – Puissance PV installée en 2015 (MW)**

Catégorie d'application	Application	Puissance installée
Raccordé au réseau de distribution	Décentralisé (principalement intégration au bâti IAB ou ISB)	294 MW (33 %)
	Centralisé au sol	593 MW (67 %)
Sous-total raccordé		<b>887 MW</b>
Hors-réseau	Électrification rurale...	<b>0,4 MW</b>

SOURCES : SOeS, Atlas PV Observ'ER, ADEME.

Les installations photovoltaïques ont généré en 2015 un marché de près de 1,24 milliard d'euros.

Le Tableau 2 décrit les installations raccordées au réseau au cours de l'année 2015 selon différentes tranches de puissance. Par rapport à 2014, on observe une baisse de 7 % de la puissance et une diminution de 35 % du nombre d'installations. La puissance installée dans l'année provient à 68 % des systèmes de plus de 250 kW, la principale opération étant la centrale photovoltaïque de Cestas près de Bordeaux. Avec une puissance totale de 300 MW (dont 230 MW raccordés en 2015), cette centrale est considérée comme la plus grande d'Europe. Les modules sont montés sur des structures fixes avec une orientation est-ouest et l'installation bénéficie du tarif d'achat T5 (2012).

Les systèmes jusqu'à 9 kW représentent 86 % du nombre total des installations et 10 % de la puissance. La puissance moyenne des installations est passée de 19 kW en 2013 à 35 kW en 2014 et à 51 kW en 2015.

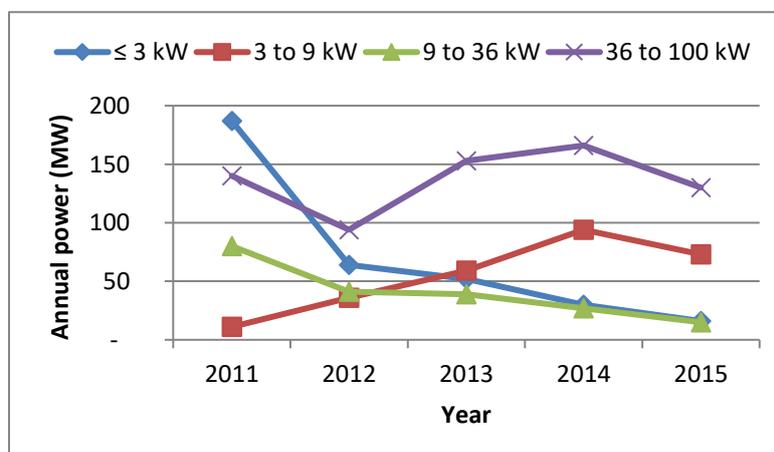
**Tableau 2 – Capacité photovoltaïque raccordée en 2015 (MW)**

Tranches de puissance	Application	Nombre d'installations (% du total)	Puissance (MW) (% du total)
0 – 3 kW	Intégration au bâti (IAB)	32,1 %	1,8 %
3 kW – 9 kW	Intégration au bâti (IAB)	54,3 %	8,2 %
9 kW – 36 kW	Intégration simplifiée au bâti (ISB)	2,9 %	1,6 %
36 kW – 100 kW	Intégration simplifiée au bâti (ISB)	8,7 %	14,7%
100 kW – 250 kW	Intégration simplifiée au bâti (ISB)	1,5 %	5,8 %
> 250 kW	Grandes toitures, centrales au sol...	0,6 %	67,9 %
Total		<b>17 845 (100 %)</b>	<b>887 MW (100 %)</b>

SOURCE : SOeS. Définitions de l'IAB et de l'ISB en 3.1.5.

Les valeurs des puissances PV en France ont contribué aux statistiques prévisionnelles de la publication de l'IEA-PVPS *Snapshot of Global PV Markets 2015*. La capacité mondiale fin 2015 a été estimée à 277 GW avec 50 GW installés durant l'année.

Les Figures 1 et 2 montrent l'évolution de la puissance installée entre 2011 et 2015 selon différentes tranches de puissance (Source : SOeS et ADEME).



**Figure 1 – Volume installé selon quatre tranches de puissance jusqu'à 100 kW, 2011-2015.**

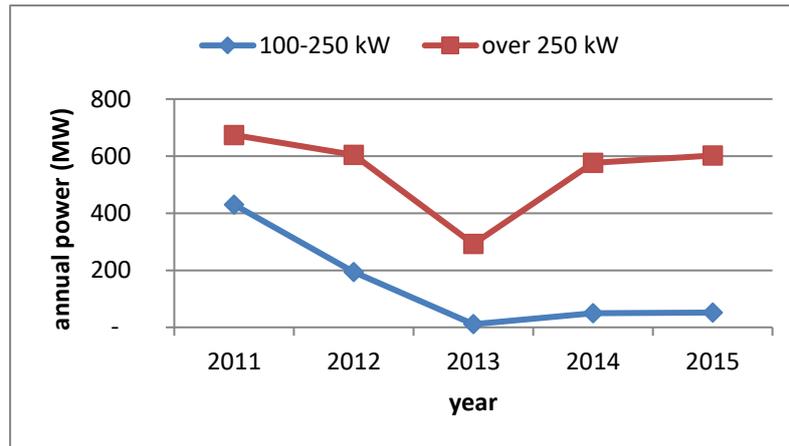


Figure 2 – Volume installé selon deux tranches de puissance > 100 kW, 2011-2015.

### 1.2.2 Photovoltaïque et marché de l'énergie

Le Tableau 3 place la production d'électricité d'origine photovoltaïque dans le contexte général du marché de l'énergie électrique en France métropolitaine (hors DOM). Les données sont extraites du *Bilan électrique 2015 RTE* [4]. On notera que les données photovoltaïques sont un peu différentes des valeurs répertoriées par SOeS. La production PV en 2015 est évaluée à 7,4 TWh, une augmentation de 25 % par rapport à 2014. La capacité photovoltaïque totale représente 4,8 % de la capacité électrique totale nationale. La production d'énergie PV couvre 1,6 % de la consommation nationale d'énergie électrique. En 2015, 43 % des nouvelles capacités de production électrique mises en service en France métropolitaine proviennent du photovoltaïque.

Le *Panorama de l'électricité renouvelable 2015* [3] rapporte un pic de puissance PV injectée de 4 601 MW le 24 juin 2015 à 14 h 00 et un taux maximum de couverture de la consommation par la production photovoltaïque de 11,2 % le 2 août 2015 à 15 h 00. Le facteur de charge annuel moyen est de 15 % avec un pic à 83,5 % le 21 avril 2015. Le *Panorama* présente aussi une analyse détaillée pour chaque région administrative de la production, du facteur de charge et du taux de couverture de la consommation.

Tableau 3 – Le photovoltaïque dans le marché national de l'électricité

Capacités	2015	2014
Capacité totale de production d'énergie électrique (toutes techniques)	Total : 129 310 MW dont Nucléaire : 63 130 MW ; Fossiles : 22 553 MW ; ER : 43 627 MW (voir ci-dessous).	Total : 128 943 MW dont Nucléaire : 63 130 MW ; Fossiles : 24 411 MW. ER : 41 402 MW (voir ci-dessous).
Capacité totale de production d'énergies renouvelables (ER) (y compris hydroélectricité)	<b>PV*</b> : 6 191 MW ( <b>4,8 %</b> ) ; Hydro : 25 421 MW ; Éol. : 10 312 MW ; Autre ER : 1 703 MW.	<b>PV*</b> : 5 292 MW ( <b>4,1 %</b> ) ; Hydro : 25 411 MW ; Éol. : 9 120 MW ; Autres ER : 1 579 MW.
Consommation totale d'électricité	476 TWh	465 TWh
<b>Nouvelles</b> capacités de production mises en service durant l'année (toutes techniques)	Total : 2085 MW dont Gaz : + 63 MW ; Charbon : - 1 500 MW ; Fossiles : + 23 MW ; Nucléaire : 0 MW ; PV et autres ER : (voir ci-dessous).	Total : 1 990 MW dont Gaz : + 9 MW ; Charbon : - 1 240 MW ; Fossiles : - 65 MW ; Nucléaire : 0 MW ; PV et autres ER : (voir ci-dessous).
<b>Nouvelles</b> capacités de production d'énergies renouvelables mises en service durant l'année (y compris hydroélectricité)	<b>PV*</b> : + 895 MW ( <b>43 %</b> ) ; Éolien : + 999 MW (48 %) ; Hydro : - 1 MW ; Autres ER : + 105 MW.	<b>PV*</b> : + 927 MW ( <b>46 %</b> ) ; Éolien : + 963 MW (48 %) ; Hydro : - 23 MW ; Autres ER : + 92 MW.
Production totale d'électricité PV	<b>PV : 7,4 TWh</b>	<b>PV : 5,9 TWh</b>
<b>Part</b> de la production d'énergie électrique PV dans la consommation totale d'électricité (%)	<b>1,6 %</b>	<b>1,3 %</b>

SOURCE : Bilan électrique RTE 2014 et 2015. \*Les données PV de RTE sont un peu différentes de celles collectées par SOeS.

**Tableau 4 – Nombre total d’installations et capacité PV fin 2015**

France (avec DROM)	Nombre d’installations	Puissance installée
Total France	<b>365 810 installations</b>	<b>6 559 MW</b>
- France métropolitaine	<b>98,2 % (puissance moyenne : 17 kW)</b>	<b>94,5 %</b>
- Départements/régions d’outre-mer	<b>1,8 % (puissance moyenne : 56 kW)</b>	<b>5,5 %</b>

SOURCES : SOeS, ERDF, RTE, EDF-SEI, ELD.

En France métropolitaine, 91 % des installations sont raccordées aux réseaux publics de distribution et 9 % au réseau de transport de l’électricité.

RTE a mis en place un système de prévision, d’observation et d’estimation de la production des sources renouvelables appelé IPES. Dans le cadre des appels d’offres de la CRE, les responsables des installations PV sont tenus d’informer RTE de leur production journalière. Le mix énergétique de la production française d’électricité est publié en temps réel sur le site RTE Eco2mix.

### 1.2.3 Puissance PV cumulée fin 2015

Le Tableau 5 présente la puissance totale cumulée à la fin de 2015 selon les catégories de systèmes : raccordés au réseau (décentralisé et centralisé au sol) et hors-réseau.

La capacité totale du parc de production photovoltaïque raccordée au réseau fin 2015 est estimée à 6 559 MW [1]. Les installations centralisées montées au sol représentent 35 % de la puissance totale et les installations décentralisées, principalement intégrées au bâti, 65 % [1] [2].

**Tableau 5 – Puissance photovoltaïque cumulée fin 2015**

Catégorie	Application	Puissance (MW)
Raccordé au réseau	Décentralisé (principalement intégré au bâti IAB ou ISB)	4 257 MW (65 %)
	Centralisé au sol	2 302 MW (35 %)
	Total raccordé	<b>6 559 MW (100 %)</b>
Hors-réseau	Électrification rurale...	<b>30,15 MW</b>

SOURCES : SOeS, Atlas PV Observ’ER et ADEME.

**Tableau 6 – Puissance cumulée et nombre d’installations en France fin 2015**

Tranches de puissance	Applications	Nombre d’installations (% du total)	Puissance (% du total)
0 – 3 kW	Intégration au bâti (IAB)	76,4 %	11,4 %
3 kW – 9 kW	Intégration au bâti (IAB)	14,3 %	5,0 %
9 kW – 36 kW	Intégration simplifiée au bâti (ISB)	4,5 %	6,2 %
36 kW – 100 kW	Intégration simplifiée au bâti (ISB)	2,9 %	12,7 %
100 kW – 250 kW	Intégration simplifiée au bâti (ISB)	1,5 %	14,8 %
> 250 kW	Grandes toitures, centrales au sol...	0,3 %	49,9 %
Total		<b>365 810 inst. (100 %)</b>	<b>6 559 MW (100 %)</b>

SOURCE : SOeS.

**Tableau 7a – Puissance cumulée par applications entre 2006 et 2015 (MW)**

Application	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Hors réseau	21,5	22,5	22,9	29,2	29,3	29,4	29,6	29,7	<b>29,75</b>	<b>30,15</b>
Raccordé au réseau										
Centralisé au sol	0,0	0,0	7	42	242	702	1 012	1 264	1 709	2 302
Raccordé au réseau										
Décentralisé	16	53	150	300	938	2 242	3 052	3 454	3 963	4 257
Raccordé au réseau, total	16	53	157	342	1 180	2 944	4 064	4 718	5 672	<b>6 559</b>

SOURCES : SOeS, précédents rapports IEA PVPS NSR France. Les données ont été revues pour tenir compte des dernières estimations de SOeS, de l’Atlas PV Observ’ER et de l’ADEME.

**Tableau 7b – Puissance cumulée en fin d’année entre 1992 et 2005 (MW)**

1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
1,8	2,1	2,4	2,9	4,4	6,1	7,6	9,1	11,3	13,9	17,2	21,1	24,2	25,9

SOURCES : ADEME, précédents rapports IEA PVPS NSR France.

La Figure 3 montre l'évolution de la puissance photovoltaïque raccordée au réseau entre 2007 et 2015 (volume annuel d'installation et puissance cumulée à la fin de chaque année).

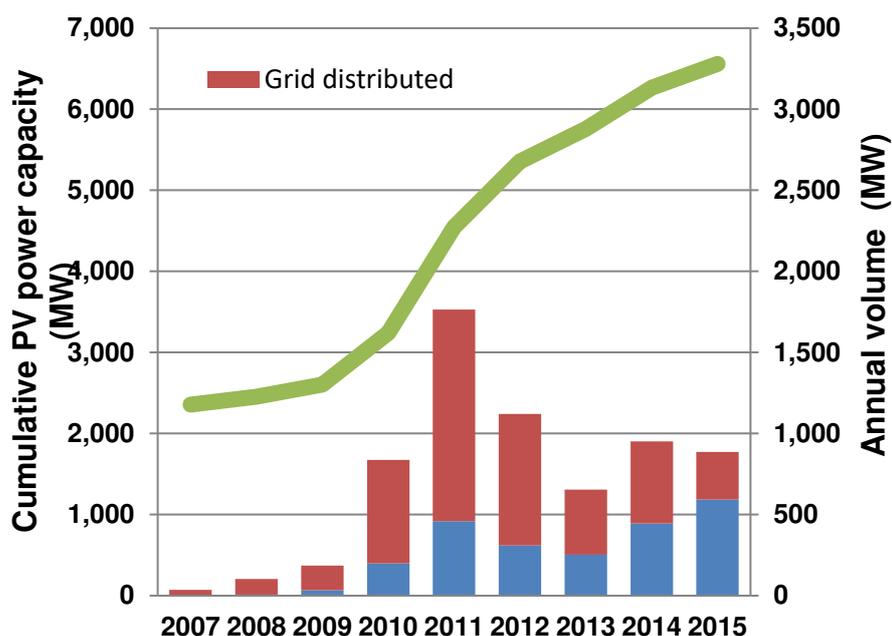


Figure 3 – Historique des volumes raccordés au réseau en France (annuel et cumulé).

Les principales zones d'implantation du PV en France métropolitaine se trouvent dans les régions méridionales les plus ensoleillées. Le Tableau 8 indique les quatre régions les plus actives couvrant 67 % de la capacité totale et 53 % du nombre des installations. La puissance installée durant 2015 dans ces quatre régions représente 85 % du volume installé.

Tableau 8 – Installations PV dans quatre Régions

Régions avec une capacité installée > 500 MW	Capacité cumulée fin 2015 (% de la capacité totale)	Nombre d'installations (% du nombre total)	Raccordé en 2015 (% puissance annuelle)
Aquitaine – Limousin – Poitou-Charentes	24 %	13,8 %	50,4 %
Languedoc-Roussillon – Midi-Pyrénées	19 %	14,7 %	17,2 %
Provence – Alpes – Côte d'Azur	13 %	9,0 %	11,6 %
Auvergne – Rhône-Alpes	10 %	15,9 %	5,9 %
<b>Total pour 4 Régions</b>	<b>4 387 MW (67 %)</b>	<b>194 642 installations (53 %)</b>	<b>748 MW (85 %)</b>
<b>Total France (DROM inclus)</b>	<b>6 559 MW (100 %)</b>	<b>365 810 installations (100 %)</b>	<b>887 MW (100 %)</b>

NOTE - En 2015, les 22 régions de France métropolitaine ont été regroupées en 13 régions. Le classement diffère des années précédentes.  
SOURCE : SOeS, février 2016.

En France, 90 % des modules photovoltaïques installés sont à base de cellules au silicium cristallin et 10 % à base de couches minces. Ces dernières sont essentiellement élaborées avec le matériau tellurure de cadmium utilisé pour les applications aux centrales au sol.

Les DROM comptent pour 5,5 % (363 MW) de la capacité photovoltaïque totale et 1,8 % du nombre d'installations. La Réunion représente à elle seule 50 % de la capacité installée dans les DROM.

## 2 COMPETITIVITE DE L'ELECTRICITE PV

### 2.1 Prix des modules PV

La plupart des fabricants de modules PV utilisent leurs produits pour leur propre compte ou pour celui de leurs partenaires. Les prix des modules standards varient entre 0,57 EUR/W et 0,62 EUR/W (hors TVA). Certains fabricants ont évoqué une réduction de prix de 5 % durant l'année 2015.

### 2.2 Prix des systèmes

Les installations sont très diverses. Le groupe photovoltaïque peut être installé sur des constructions neuves ou existantes que ce soit sur des résidences privées ou des bâtiments commerciaux, industriels ou agricoles et ceci en deux configurations d'intégration totale (IAB) ou simplifiée (ISB) voire dans certains cas en mode de surimposition. Pour les installations au sol, le champ photovoltaïque est monté sur des structures fixes ou sur des suiveurs solaires. L'orientation fixe est-ouest est aussi une proposition. Les centrales avec stockage sont un type d'application recommandé pour les zones non interconnectées.

Le Tableau 9a donne des fourchettes de prix installé dans quatre catégories d'applications.

**Tableau 9a – Prix installé de certaines applications (EUR/W) 2015**

Catégorie/Puissance unitaire	Application	Prix (EUR/W*)
Intégration totale IAB sur toiture jusqu'à 9 kW	Toiture résidentielle sur bâtiment existant	2,4-3,0 EUR/W
Intégration simplifiée ISB sur toiture 36 à 100 kW	Toiture d'établissement d'enseignement	1,7-2,3 EUR/W
Intégration simplifiée ISB sur toiture 100 kW à 250 kW	Grande toiture de bâtiment industriel ou commercial	1,5-1,7 EUR/W
Centrale au sol 5 MW à 10 MW	Production centralisée Structure fixe (sans stockage)	0,9-1,3 EUR/W

SOURCE : ADEME [6] [9]. \*Hors TVA. Définitions de l'IAB et de l'ISB en 3.1.5.

Le Tableau 9b présente l'historique des prix moyens relevés pour quelques applications courantes. La baisse importante entre 2012 et 2013 pour les applications IAB est due à la prise en compte des systèmes IAB jusqu'à 9 kW, contrairement aux années précédentes où l'on ne prenait en compte que les systèmes de 3 kW [9].

**Tableau 9b – Historique des prix moyens des systèmes PV (EUR/W)**

Application	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013*	2014*	2015*
Toiture IAB jusqu'à 9 kW, bâti existant	8,4	8,2	6,9	5,9	3,9	3,7	2,7	2,6	2,5
Grande toiture ISB 36 kW à 100 kW	7,8	7,6	6,4	5,5	2,6	2,0	2,0	2,0	1,9
Centrale au sol 5 MW à 10 MW	6,3	6,2	5,2	4,5	2,0	1,6	1,3	1,3	1,2

\*NOTE – Le tableau inclut les systèmes IAB de 3 kW jusqu'en 2012 et, depuis 2013, les systèmes IAB jusqu'à 9 kW.

SOURCE : ADEME [9]. Hors TVA.

Le Tableau 10a compare les coûts des systèmes en intégration (totale IAB et simplifiée ISB) appliqués à des bâtiments neufs et existants, aux coûts des systèmes en mode de surimposition (BAPV) utilisant des modules PV standards au silicium cristallin [6].

**Tableau 10a – Comparaison des coûts de l'intégration au bâti BIPV reporté au BAPV**

Type d'application	Bâtiment	Puissance	BIPV (IAB ou ISB) vs BAPV
Toiture PV en intégration totale IAB*	Nouveau	3 kW	IAB : + 7,0 %
		3 kW à 9 kW	IAB : + 3,5 %
	Existant	3 kW	IAB : + 27 %
		3 kW à 9 kW	IAB : + 31 %
Grande toiture en intégration simplifiée ISB*	Nouveau	36 kW à 100 kW	ISB : + 4,0 %
	Existant	36 kW à 100 kW	ISB : + 22 %
	Existant	100 kW à 250 kW	ISB : + 9,1 %

SOURCE : ADEME [6]. Définitions IAB et ISB en 3.1.5. Hors TVA.

## 2.3 Répartition des coûts des installations

Le Tableau 10b propose la répartition des coûts de trois types de systèmes selon les postes de dépenses matériels/équipements et installation/conception.

**Tableau 10b – Répartition des coûts pour trois types de systèmes (%)**

Poste	Toiture IAB ≤ 9 kW	Toiture ISB 36 kW à 100 kW	Au sol > 1 MW
<b>Matériels</b>			
Modules PV	24 %	26 %	42 %
Onduleur, équipements électriques	16 %	21 %	8 %
Structure support	12 %	11 %	8 %
<b>Installation/conception</b>			
Installation	36 %	31 %	25 %
Autres coûts	12 %	11 %	17 %
Sous-total Matériels	52 %	58 %	58 %
Sous-total Installation/conception	48 %	42 %	42 %
Total	100 %	100 %	100 %

SOURCE : ADEME [6]. Définitions IAB et ISB en 3.1.5.

NOTE – Le Tableau 11 donnant des informations pratiques sur la France (population, surface,...), plus particulièrement destinées au lectorat étranger du *National Survey Report France 2015*, n'a pas été traduit et ne figure pas dans cette adaptation.

## 3 POLITIQUE DE SOUTIEN

Le développement des applications photovoltaïques en France est favorisé par des politiques de soutien nationales et régionales. Depuis les années 1980, des mesures ont été instaurées pour permettre l'électrification de sites éloignés des réseaux électriques. Depuis 2002, l'introduction des tarifs d'obligation d'achat a permis un développement rapide de la production d'électricité raccordée au réseau public de distribution. Certaines politiques indirectes ont eu également une influence sur ce développement. Ce chapitre développe ces deux aspects.

### 3.1 Mesures directes

Depuis le décret publié en mars 2011, le principal mécanisme de soutien au développement des applications photovoltaïques raccordées au réseau inclut deux approches complémentaires en fonction de la puissance des installations :

- installations photovoltaïques jusqu'à 100 kW : régime d'obligation d'achat avec un ajustement trimestriel ;
- installations photovoltaïques de puissance supérieure à 100 kW et inférieure à 12 MW : procédure d'appel d'offres (tarifs d'achat déterminés par les réponses aux appels d'offres).

Le Tableau 12 résume les mesures de soutien nationales et régionales en cours.

En 2015, le volume cible du gouvernement pour les applications photovoltaïques raccordées au réseau a été porté à 10 200 MW à installer d'ici la fin 2018 et à 18-20 GW d'ici la fin 2023. Ce volume a remplacé l'objectif initial de 5 400 MW à l'horizon 2020 tel que fixé en 2009 par la programmation pluriannuelle des investissements de production d'électricité (PPI). La loi sur la transition énergétique pour la croissance verte, promulguée en août 2015, mettra en œuvre de nouvelles pratiques à partir du 1<sup>er</sup> janvier 2017 (voir 3.1.10).

Le Tableau 12 récapitule les mesures de soutien du PV en France. Le crédit d'impôt sur le revenu (CIDD) des particuliers propriétaires d'un toit photovoltaïque n'est plus applicable depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2014.

**Tableau 12 – Résumé des mesures de soutien 2015**

Mesures directes	Champ d'intervention
------------------	----------------------

Tarifs d'obligation d'achat	Politique nationale
Tarifs déterminés par les propositions aux appels d'offres (systèmes PV supérieurs à 100 kW)	Politique nationale
Application hors-réseaux publics : Fonds FACE pour l'électrification rurale	Politique nationale
Subvention sur investissement	Conseils régionaux par des appels à projets
Mesure pour l'autoconsommation/autoproduction	Conseils régionaux par des appels à projets. En discussion au niveau national
Crédit d'impôt	Mesure interrompue depuis le 1 <sup>er</sup> janvier 2014

### 3.1.1 Tarifs d'achat

Les dates-clés des tarifs d'achat sont rappelées dans le Tableau 13.

**Tableau 13 – Dates-clés de la politique des tarifs d'achat**

13 mars 2002	Régime d'obligation d'achat. Le tarif d'achat PV est fixé à 0,1525 EUR/kWh (0,3050 EUR/kWh en Corse et DROM).
10 juillet 2006	Les tarifs d'achat photovoltaïques sont bonifiés pour favoriser l'intégration au bâti (tarif fixé à 0,55 EUR/kWh).
10 déc. 2010	L'obligation d'achat et le raccordement des installations PV de puissance supérieure à 3 kW sont suspendus durant trois mois (le secteur résidentiel des systèmes de 3 kW n'est pas concerné par la mesure).
4 mars 2011	Les tarifs d'achat applicables selon des segments de puissance et les applications IAB/ISB sont révisés. Un ajustement trimestriel est instauré pour les installations sur les bâtiments de moins de 100 kW et des appels d'offres sont mis en place pour les installations PV de plus de 100 kW.
7 janvier 2013	La grille tarifaire est simplifiée. Une majoration des tarifs d'achat de 5 % ou 10 % est appliquée aux projets dont les modules photovoltaïques sont fabriqués dans l'Espace économique européen (mesure valide du 1 <sup>er</sup> février 2013 au 10 mars 2014). De nouveaux appels d'offres pour les systèmes de puissance supérieure à 100 kW sont lancés. À partir de 2013, le tarif T1 IAB réservé aux systèmes de 3 kW est appliqué jusqu'à 9 kW.
Mars 2014	La bonification tarifaire de 5 % ou 10 % (voir ci-dessus) est supprimée à partir du 10 mars 2014.
2015	Le tarif T4 est augmenté de 10 %. La loi sur la transition énergétique promulguée en août 2015 prévoit pour les systèmes > 500 kW un changement de calcul des tarifs, applicable dès 2017.

Le dispositif de soutien aux énergies renouvelables mis en place par la loi contraint l'agence EDF OA (EDF Agence obligation d'achat) et les entreprises locales de distribution (ELD) à acheter l'électricité produite à partir des sources d'énergies renouvelables à un tarif d'achat plus élevé que le prix du marché. Les tarifs d'achat sont fixés soit par arrêté ministériel (Tableau 14) soit par des réponses aux appels d'offres (voir 3.1.2). Dans les deux cas, les tarifs sont garantis sur une période de 20 ans.

Une fois fixés par contrat, les tarifs d'achat sont ajustés chaque année en utilisant un coefficient spécifique déterminé par l'Insee.

La politique des tarifs d'achat est financée par la Contribution au service public de l'électricité (CSPE), taxe payée par tous les consommateurs d'électricité (voir 3.1.11).

**Tableau 14 – Tarifs d'achat en 2015 (EUR/kWh)**

Puissance de l'installation (W)	Catégorie de tarif d'achat et type d'installation	Tarif au 4 <sup>e</sup> trim. 2015 (EUR/kWh)	Variation annuelle 2015 (%)	Variation depuis mars 2011 (%)
P ≤ 9 kW	T1 – Intégration totale au bâti (IAB)	0,2539	- 5,9 %	- 44,8 %
P ≤ 36 kW	T4 - Intégration simplifiée au bâti (ISB)	0,1440	+ 4,8 %	- 52,6 %
36 kW < P ≤ 100 kW		0,1368	+ 4,8 %	- 52,5 %
P ≤ 12 MW	T5 - Autres installations	0,0612	- 10 %	- 49,0 %
100 kW < P ≤ 12 MW	Tarif Appel d'offres Toitures, installations au sol...	0,0820 Exemple de prix proposé en réponse aux appels d'offres pour une centrale au sol		- 45 % (au sol)
NOTE 1 – En 2013, les tarifs T2 et T3 ont été inclus dans T1 et T4. NOTE 2 – Rectification à la hausse du T4 en 2015.				

SOURCE : CRE, ministère de l'Environnement. Définitions de l'IAB et de l'ISB en 3.1.5.

### 3.1.2 *Appels d'offres nationaux*

Des appels d'offres portant sur des installations de production photovoltaïque raccordées au réseau public de distribution d'une puissance supérieure à 100 kW ont été lancés dès 2011. Le Tableau 15 résume la situation jusqu'au début de l'année 2016. La gestion des appels d'offres est confiée par le ministère de l'Environnement à la Commission de régulation de l'énergie (CRE), autorité administrative chargée de réguler les marchés de l'électricité et du gaz.

Dans le cadre des appels d'offres, ce sont les candidats qui proposent un prix de l'électricité fournie au réseau. Les modalités de sélection des dossiers et des engagements du candidat sont précisées dans les cahiers des charges. La notation des dossiers se fonde sur des critères de prix de l'électricité et d'impact environnemental y compris le bilan carbone des modules photovoltaïques.

En 2015, le développement de nouvelles capacités PV par appels d'offres a été confirmé par la loi sur la transition énergétique pour la croissance verte (Tableau 16).

#### *3.1.2.1 Appels d'offres pour systèmes de 100 kW à 250 kW*

Ce type d'appel d'offres dit « simplifié » porte sur la réalisation et l'exploitation d'installations photovoltaïques d'une puissance comprise entre 100 kW et 250 kW. Les installations doivent respecter les conditions d'intégration simplifiée au bâti.

Une première série d'appels d'offres, lancée en juillet 2011, a conduit à la sélection de 156,9 MW et 756 projets, en dessous du volume cible fixé à 240 MW.

La deuxième série d'appel d'offres de mars 2013 qui visait la construction de toitures PV pour un total de 120 MW répartis en trois périodes de 40 MW, a légèrement dépassé l'objectif initial, avec une puissance totale de 121,7 MW et 587 projets.

En mars 2015, une troisième série d'appel d'offres a été annoncée avec un volume cible de 120 MW réparti en trois périodes de 40 MW chacune, pour les installations sur bâtiments et ombrières de parking. En juillet 2015, le ministère de l'Environnement a doublé le volume cible jusqu'à 240 MW en favorisant les applications sur bâtiments agricoles. En mars 2016, il a publié la liste des résultats de la première période avec 349 projets totalisant 80,2 MW (toitures photovoltaïques et ombrières de parking). Le tarif moyen est de 139 EUR/MWh - une réduction de 9 % par rapport à l'appel de mars 2013.

Les offres pour les deuxième et troisième périodes étaient clôturées respectivement le 21 mars 2016 et le 21 juillet 2016.

#### *3.1.2.2 Appels d'offres pour les systèmes supérieurs à 250 kW*

Les appels d'offres dits « ordinaires » portent sur la réalisation et l'exploitation d'installations photovoltaïques d'une puissance supérieure à 250 kW et inférieure à 12 MW. Les exigences ont été accrues en matière de qualité environnementale et industrielle avec notamment l'obligation de recyclage en fin de vie.

Le premier appel d'offres CRE 1 > 250 kW a été lancé en septembre 2011 (cible 450 MW). Les catégories d'applications concernaient le PV sur bâtiment ISB, les centrales au sol (y compris avec stockage), les ombrières de parking, le PV à concentration et le solaire thermodynamique. Le total retenu s'élève à 520 MW (105 projets) soit 70 MW de plus que l'objectif initial.

Un deuxième appel d'offres CRE 2 > 250 kW a été lancé en mars 2013 pour une puissance totale recherchée de 400 MW. Il visait les technologies sur bâtiment, les centrales au sol avec suiveurs solaires, les centrales au sol à concentration, les installations mixtes concentration/non concentration et les ombrières de parking. Le cahier des charges prévoyait de privilégier le développement des centrales au sol sur les sites dégradés (friches industrielles, anciennes carrières et décharges...) et exigeait une évaluation des impacts environnementaux et des risques industriels ainsi qu'une évaluation carbone simplifiée des

modules photovoltaïques sans cadre. Chaque dossier devait en outre proposer un projet de R&D.

Les résultats officiels ont été publiés au début 2014 avec un total de 380 MW répartis sur 121 projets. Le prix d'achat de l'électricité le moins élevé était celui des centrales au sol avec modules classiques et suiveurs solaires et le plus élevé celui des centrales à concentration.

Le troisième appel d'offres CRE 3 a été lancé en novembre 2014, avec l'objectif initial de 400 MW, porté à 800 MW au cours de l'année 2015. En fin de compte, l'appel a mené à la sélection de 1 100 MW, la date limite de soumission des offres étant fixée au 1<sup>er</sup> juin 2015.

L'appel précisait que les installations sur les terres agricoles ne seraient pas éligibles, mais qu'une prime serait accordée aux projets innovants et à l'utilisation de terres en friche. Entre autres exigences, l'appel demandait que les postulants fournissent au gestionnaire du réseau électrique des informations sur l'exploitation de l'installation photovoltaïque. Les applications de l'appel concernaient les grandes toitures (intégration simplifiée et en surimposition  $\leq 5$  MW), les centrales au sol et les ombrières de parking.

La liste des lauréats a été publiée en décembre 2015 : 253 projets ont été retenus pour une puissance totale de plus de 1 100 MW. On a observé une baisse de 15 à 23 % du prix d'achat moyen de l'électricité par rapport à l'appel CRE 2 précédent (Tableau 15). La moitié des modules photovoltaïques utilisés sur les nouvelles centrales seront fabriqués en France.

### *3.1.2.3 Appels d'offres pour les installations photovoltaïques avec stockage*

Le troisième type d'appels d'offres nationaux est destiné aux zones insulaires non interconnectées (ZNI). Les territoires ZNI concernés sont la Corse et les régions d'outre-mer qui ne sont pas connectées au réseau électrique continental. Suite au décret du 23 avril 2008, un taux maximum de pénétration de 30 % pour les énergies renouvelables a été autorisé de manière à limiter le déséquilibre de charge sur le réseau électrique. Les batteries de stockage associées aux installations photovoltaïques contribuent à la stabilité du réseau électrique local, puisque l'excédent d'énergie électrique est stocké et libéré au moment opportun.

L'édition 2011 de l'appel d'offres CRE 1 avait déjà réservé un volume de 50 MW pour les installations avec stockage dans les ZNI. En 2014/2015, plusieurs systèmes ont été installés dans ces territoires avec des puissances de 5 MW à 10 MW, secondées par des capacités de stockage de 5 MWh à 10 MWh. C'est ainsi que le réseau électrique de l'île de la Réunion est maintenant en mesure de supporter une insertion d'électricité renouvelable de 32 %. La programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE Réunion) vise 50 % d'ici 2020 et 100 % d'ici 2030.

En mai 2015, le ministère de l'Environnement a lancé un appel d'offres pour la réalisation de nouvelles installations photovoltaïques ( $> 100$  kW) avec stockage de l'énergie dans les ZNI. Le volume cible de 50 MW a été également réparti entre installations sur bâtiments (projets  $< 1,5$  MW) et au sol ( $< 5$  MW) dont les ombrières PV pour parkings. Le prix de l'énergie électrique a été fixé dans une fourchette de 140 EUR/MWh à 400 EUR/MWh. La date limite de soumission était fixée au 20 novembre 2015. La CRE a recensé 217 offres éligibles ce qui représente 356 MW, soit sept fois l'objectif recherché. Le ministère devait publier la sélection finale en mi-2016.

### *3.1.2.4 Résultats des appels d'offres*

Le Tableau 15 résume la situation des appels d'offres nationaux jusqu'à la fin mars 2016. Les appels ont abouti à la sélection de 2 111 installations photovoltaïques représentant une puissance totale de 2 347 MW. Le prix de vente moyen pondéré de l'énergie électrique des projets admissibles varie, selon les types d'applications, de 82 EUR/MWh à 213 EUR/MWh.

**Tableau 15 – Résultats des appels d'offres nationaux (juillet 2011 à mars 2016)**

Type d'appel d'offres		volum cible (MW)	volum réalisé (MW)	Nombre d'installat ions	Prix d'achat moyen (EUR/MWh)
1 – Appels d'offres simplifiés 100 kW-250 kW Intégration simplifiée au bâti	1 <sup>re</sup> (2011-07) et 2 <sup>e</sup> séries d'AO (2013-03)	360 MW	267	1 283	212* (1 <sup>re</sup> série) 162* (2 <sup>e</sup> série)
	3 <sup>e</sup> série, 3 périodes (lancement 2015-03) <i>Résultats 1<sup>re</sup> période publiés mars 2016</i>	3 périodes de 80 MW	80 (1 <sup>re</sup> période)	349	139
2 – Appels d'offres ordinaires 250 kW-12 MW grandes toitures, installations au sol,...	CRE 1 (2011-09) CRE 2 (2013-03)	850 MW	900	226	213* (CRE 1) 142* (CRE 2)
	CRE 3 (2014-11) <i>Résultats publiés décembre 2015</i>	1 100 MW	1 100 (Soumissions : 2 200 MW)	253	Grandes toitures : 129 (-18 %**) Ombrières PV : 124 (-15 %**) Centrales au sol : 82 (-23 %**)
3 – Appel d'offres ZNI > 100 kW avec stockage	ZNI 1 (2015-05) <i>Résultats à publier en 2016</i>	50 MW	n.d.	n.d.	n.d.
<b>Total (mars 2016)</b>		2 600 MW	2 347 MW (non inclus périodes 2 & 3 de 3 <sup>e</sup> série et AO ZNI)	2 111 instal. (non inclus périodes 2 & 3 de 3 <sup>e</sup> série et AO ZNI)	

\* Moyenne pondérée des dossiers éligibles correspondant à plusieurs types de systèmes. Valeurs prévisionnelles.

\*\* Comparaison avec l'appel d'offres précédent.

ZNI : zones non interconnectées (Corse et DROM).

SOURCE : CRE et ministère de l'Environnement.

### 3.1.2.5 Calendrier provisoire des appels d'offres nationaux

En novembre 2015, le ministère de l'Environnement a publié le calendrier provisoire des appels d'offres pour les systèmes de puissance supérieure à 100 kW, représentant un volume total de 4 350 MW sur la période 2016-2019 (Tableau 16). Deux types d'applications sont pris en compte : installations sur bâtiments (1 350 MW) et centrales au sol (3 000 MW). Le nouveau mécanisme de soutien mis en œuvre par la loi sur la transition énergétique sera applicable : l'énergie électrique sera vendue directement sur le marché de l'électricité avec un complément de rémunération.

Le calendrier provisoire fait partie de la nouvelle programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE).

**Tableau 16 - Calendrier provisoire des appels d'offres 2016-2019 (MW)**

Application	2016	2017	2018	2019	Total
Toitures	2 appels × 150 MW	3 × 150	3 × 150	1 × 150	1 350 MW
Centrales au sol	1 appel × 500 MW	2 × 500	2 × 500	1 × 500	3 000 MW
Total	800 MW	1 450 MW	1 450 MW	650 MW	4 350 MW

SOURCE : Ministère de l'Environnement.

### 3.1.3 Appels à projets des collectivités territoriales

Les conseils régionaux, les conseils départementaux et de nombreuses communes et communautés de communes mènent des politiques en faveur du photovoltaïque. Les modes de financement sont diversifiés.

Les régions Alsace, Aquitaine, Guadeloupe, Languedoc-Roussillon, Pays de la Loire et Poitou-Charentes ont lancé des appels à projets pour des installations photovoltaïques en autoconsommation. Si l'intégration au bâtiment n'est pas une exigence, un intérêt particulier doit être apporté à l'efficacité énergétique du bâtiment. Les bénéficiaires peuvent être des collectivités locales ou des entreprises. Les aides accordées prennent la forme d'aide à l'investissement ou d'avances remboursables plafonnées. Les études préalables peuvent recevoir une aide financière de l'ADEME.

En juin 2015, un appel à projets sur l'autoconsommation a été lancé par le conseil régional de la Guadeloupe et l'ADEME. Les projets ne seront pas autorisés à vendre l'électricité excédentaire.

Au niveau local, de nombreuses municipalités mettent en œuvre leur Plan climat air énergie territorial (PCAET). Pour aider les collectivités dans leurs stratégies de développement du PV, l'ADEME a publié *Photovoltaïque et collectivités territoriales – Guide pour une approche de*

*proximité* [8] : le guide fournit des informations concernant les options de financement, des mesures pratiques pour les investissements ainsi que des exemples de réalisations.

#### **3.1.4 Mesures pour l'autoconsommation**

Les projets photovoltaïques sous contrats d'achat permettent la consommation partielle de la production d'électricité. Il n'y a aucune prime pour l'autoconsommation. Comme on l'a vu ci-dessus (3.1.3), certaines régions favorisent le développement de l'autoconsommation par des appels à projets.

Au début de 2015, la Direction de l'énergie et du climat (DGEC) du ministère de l'Environnement a publié un rapport sur les questions d'autoconsommation/autoproduction [10]. Après consultation des parties prenantes, un appel à projets national sur l'autoconsommation devait être lancé en 2016.

#### **3.1.5 Mesures pour l'intégration du PV au bâtiment**

Les mesures de soutien par tarifs d'achat favorisent l'intégration du photovoltaïque au bâtiment (BIPV, *Building-integrated photovoltaics*). En France, deux types d'intégration sont pris en compte, IAB et ISB :

- IAB - Intégration totale au bâtiment : les modules photovoltaïques se substituent aux éléments de la toiture, assurent l'étanchéité principale du bâtiment et ne dépassent pas le plan de la toiture de plus de 2 cm.
- ISB - Intégration simplifiée au bâtiment : les modules photovoltaïques remplacent les éléments de la toiture et sont montés parallèlement au plan de la toiture. L'étanchéité du bâtiment est obtenue grâce à un bac acier.

Les tarifs d'achat indiqués dans le Tableau 14 concernent les applications IAB (tarif T1) et ISB (tarif T4). Le tarif d'achat T5 s'applique à toutes les autres installations comme les centrales au sol et les toits PV avec modules en surimposition. Dans le mode surimposition, les modules photovoltaïques sont montés sur l'enveloppe d'un bâtiment.

Les installations avec des modules PV en mode de surimposition (attenants au bâtiment) (BAPV, *building-attached photovoltaics*) se trouvent surtout dans les départements d'outre-mer. Leur volume reste marginal par rapport à la capacité totale des installations avec modules PV intégrés au bâtiment (*building-integrated PV*, BIPV). L'appel d'offres CRE 3, lancé en novembre 2014, identifie un volume-cible pour les installations sur bâtiment en surimposition (BAPV).

#### **3.1.6 Mesures pour l'électrification rurale**

L'électrification rurale par générateur PV en dehors des réseaux électriques se rencontre principalement dans les départements d'outre-mer. Les opérations peuvent être financées par les communes, par le fonds dédié à l'électrification rurale (FACE) ainsi que par le Fonds européen de développement régional (FEDER). Dans ce cadre, six centrales hybrides PV-diesel de 50 kW à 150 kW ont été construites en 2015 dans des villages reculés de Guyane.

#### **3.1.7 Mesures pour le stockage décentralisé**

En mai 2015, le ministère de l'Environnement et la CRE ont lancé un appel d'offres pour 50 MW d'installations photovoltaïques avec stockage de l'énergie dans les zones non interconnectées (voir 3.1.2.3).

#### **3.1.8 Mesures de soutien supprimées en 2015**

Les mesures actuelles de soutien sont maintenues en 2015.

Pour mémoire, un crédit d'impôt sur le revenu de 50 % pour les propriétaires de toitures PV intégrées au bâti avait été introduit en 2004. Ce crédit a été réduit à 22 % en 2011, à 11 % en

2013 et a été supprimé le 1<sup>er</sup> janvier 2014, mais les coûts des matériels bénéficient toujours d'un taux réduit de TVA de 10 %.

### 3.1.9 **Nouvelles mesures de soutien mises en œuvre en 2015**

Obligation d'achat et appels d'offres sont les deux mesures de soutien en vigueur.

Au cours de l'année 2015, le ministère de l'Environnement a annoncé plusieurs mesures afin de stimuler le marché PV :

- relèvement du volume cible national pour les installations photovoltaïques : l'objectif passe de 5 400 MW tel que fixé en 2009 pour l'horizon 2020, à 10 200 MW installés d'ici la fin 2018 et à 18-20 GW installés d'ici la fin 2023 ;
- augmentation de 10 % du tarif d'achat T4 pour les toitures photovoltaïques avec intégration simplifiée ;
- lancement de deux nouveaux appels d'offres, l'un pour les installations sur toitures (100 kW à 250 kW) pour un volume total de 120 MW et l'autre pour la réalisation de 50 MW de systèmes avec stockage de l'énergie (> 100 kW) dans les zones non interconnectées (ZNI) ;
- augmentation des volumes recherchés pour les deux appels d'offres en cours d'instruction : le volume est doublé de 120 MW à 240 MW pour le PV sur toiture. Quant à l'appel d'offres CRE 3 (> 250 kW), son volume initial passe de 400 MW à 1 100 MW ;
- publication d'un calendrier de nouveaux appels d'offres CRE pour une puissance totale de 4 350 MW entre 2016 et 2019 (voir Tableau 16).

Au niveau local, plusieurs conseils régionaux ont lancé des appels à projets pour des installations en autoconsommation (voir 3.1.3).

Ces mesures nationales et régionales ont été bien accueillies par l'industrie photovoltaïque.

### 3.1.10 **Mesures actuellement discutées mais non encore appliquées**

En 2015, le gouvernement français a adopté la loi sur la transition énergétique pour la croissance verte. La loi a été votée en juillet 2015 et promulguée le mois suivant.

Les principaux objectifs de la loi sont la réduction des émissions de gaz à effet de serre (moins 40 % d'ici 2030 par rapport au niveau de 1990), l'efficacité énergétique (réduction de la demande de 50 % d'ici 2050 par rapport au niveau de 2012), la diversification de l'approvisionnement énergétique par une consommation réduite de combustibles nucléaires et fossiles et un déploiement accéléré des énergies renouvelables (32 % de la consommation finale d'énergie en 2030 et 40 % de la production d'électricité).

Selon le gouvernement, la loi incarne « l'ambition de faire de la France une nation exemplaire en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre, de diversification de son modèle énergétique et du déploiement des énergies renouvelables ».

La loi crée un nouveau mécanisme de soutien aux énergies renouvelables pour les installations de puissance supérieure à 0,5 MW (à compter du 1<sup>er</sup> janvier 2017), dans lequel l'énergie électrique sera vendue directement sur le marché de l'électricité et bénéficiera d'un complément de rémunération calculé par la différence entre le prix du marché et un tarif de référence. D'autre part, l'implication des autorités locales et des particuliers dans les projets d'énergies renouvelables sera encouragée. La programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) établira les conditions permettant de répondre aux principaux objectifs de la loi.

En 2016, les systèmes hybrides PV-T pour le secteur résidentiel seront admissibles au crédit d'impôt pour la transition énergétique (CITE).

### 3.1.11 **Financement et coût des mesures de soutien**

La politique de promotion du PV français par les tarifs d'achat est financée par la Contribution au service public de l'électricité (CSPE). La CSPE est une taxe fixée par le gouvernement

depuis 2003. Elle s'applique à la quantité d'électricité consommée par les particuliers et les industriels et s'élève à 19,50 EUR par MWh. Pour l'année 2015, la contribution de la CSPE au PV était estimée à environ 2 240 millions d'euros (source CRE). Le rôle de la CSPE est de compenser les coûts que supportent les opérateurs d'électricité pour l'ensemble de leur mission de service public. Par exemple, les coûts liés au fait d'assurer un prix de l'électricité égal pour tous les citoyens français (y compris ceux des départements d'outre-mer) ou ceux liés aux tarifications spéciales pour les personnes dans la précarité. La CSPE couvre aussi les coûts résultant des politiques de soutien aux énergies renouvelables et à la cogénération.

Des mesures financières importantes ont été prises pour soutenir la transition énergétique. Le fonds d'épargne de la Caisse des dépôts qui finance des projets clés dans le secteur public local a été augmenté de cinq milliards d'euros, les prêts Bpifrance ont été doublés et le Fonds de financement de la transition énergétique a été porté à 1,5 milliard d'euros.

## **3.2 Politiques indirectes**

En France, diverses initiatives concourent indirectement à la promotion de projets photovoltaïques en particulier dans les régions, vecteurs importants de la mise en œuvre des énergies renouvelables. Le ministère de l'Environnement a lancé l'appel à projets intitulé Régions à énergie positive pour la croissance verte afin d'accélérer les actions concrètes contribuant à la transition énergétique. Au début de 2015, 260 collectivités locales ont été sélectionnées pour recevoir le soutien du Fonds de financement de la transition énergétique.

### **3.2.1 Politiques internationales**

#### **3.2.1.1 COP21**

En décembre 2015, le gouvernement français a accueilli à Paris la Conférence des Nations Unies sur les changements climatiques (COP21), un événement majeur qui a attiré plus de 20 000 délégués. Les représentants de 195 pays ont adopté l'Accord de Paris pour limiter le réchauffement global moyen sous le seuil des 2° C avant la fin du siècle. En avril 2016, l'Accord de Paris était signé au siège de l'ONU par les représentants des Parties et devait être ratifié au niveau de chaque pays dans le courant de l'année 2016.

Plusieurs rencontres internationales organisées en parallèle à la COP21 ont conduit à d'importantes contributions :

- L'Alliance solaire internationale (ISA) a été lancée par l'Inde et la France pour stimuler l'utilisation de l'énergie solaire dans les pays en développement. Le siège de l'ISA a été inauguré à New Delhi par le Président français et le Premier ministre indien ;
- La Mission Innovation, lancée par le Président français, le Président américain et des entrepreneurs influents, devrait conduire à une augmentation significative des investissements publics et privés dans les énergies propres. 19 États se sont engagés à doubler le budget de R&D au cours des cinq prochaines années ;
- La Déclaration de l'Hôtel de ville de Paris a été signée par la maire de Paris et un millier de responsables locaux représentant 600 millions de personnes dans le monde. L'objectif est de favoriser des mesures conduisant à 100 % d'énergies renouvelables ;
- L'Initiative Terrawatt (TWI) est une organisation sans but lucratif mise en place par des entrepreneurs et des financiers pour promouvoir l'énergie solaire compétitive et la coopération avec l'Alliance solaire internationale. Le secrétariat de l'initiative TWI est confié à la société Solairedirect basée à Paris.
- Deux initiatives à noter parmi beaucoup d'autres : le sommet Défi climatique et solutions africaines, et la Coalition pour le leadership en matière de tarification du carbone (*Carbon pricing leadership*).

#### **3.2.1.2 Initiatives internationales et régionales**

Les organisations internationales telles que la CEI, le CENELEC et l'AIE contribuent largement à renforcer la confiance dans la technologie photovoltaïque et ses applications. La

CEI et son équivalent européen le CENELEC développent des normes PV, tandis que l'AIE se concentre sur des études techniques et de marché. On notera que l'ADEME a contribué à la création du Comité d'études TC 82 (systèmes d'énergie solaire) de la Commission électrotechnique internationale (CEI), ainsi qu'à la mise en place du programme de coopération pour les systèmes PV de l'Agence internationale de l'énergie (AIE PVPS).

L'AFNOR, l'organisme français de normalisation, prend part avec ses experts aux travaux du TC 82 de la CEI et du TC 82 du CENELEC. Des spécialistes français participent également aux études du programme AIE PVPS (Tâches 1, 9, 12, 13 et nouvelle Tâche 15).

Pour sa part, l'Union européenne joue un rôle de premier plan dans le développement des technologies et des marchés photovoltaïques grâce, non seulement à son programme de recherche et d'innovation Horizon 2020, mais aussi aux Directives qu'elle met en œuvre en s'appuyant sur ses outils de financement (FEDER, BEI, etc.).

Au niveau régional, l'Office franco-allemand pour les énergies renouvelables favorise les synergies et l'échange d'expérience entre les professionnels. Des ateliers ont été récemment organisés sur des sujets tels que les *Centrales photovoltaïques au sol* ou le *Bilan environnemental des installations photovoltaïques*.

### 3.2.2 **Introduction de réglementations environnementales**

La stratégie nationale bas carbone (SNBC), introduite par la loi sur la transition énergétique pour la croissance verte décrit l'approche à adopter afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre. Les « budgets carbone », 2015-2028 sont décomposés en grands secteurs d'activités. La contribution climat-énergie (taxe carbone), a été fixée à 14,50 EUR/t en 2015, 22 EUR/t en 2016 et devrait atteindre 56 EUR/t en 2020 et 100 EUR/t en 2030.

La Réglementation thermique RT 2012 fixe pour les bâtiments neufs un seuil maximal de consommation d'énergie primaire de 50 kWh/m<sup>2</sup> par an. Cette réglementation offre de nouvelles opportunités de développement pour la filière solaire, mais elle n'est qu'une étape vers la prochaine réglementation RT 2020 dite Bâtiment à énergie positive (BEPOS) qui imposera aux bâtiments neufs de devenir des producteurs nets d'énergie.

### 3.2.3 **Politiques visant à promouvoir le PV dans des pays non-AIE**

Les opérateurs institutionnels tels que Business France, Coface (assurance-crédit à l'exportation), Bpifrance Export et le ministère de l'Économie (Direction du Trésor) fournissent une assistance aux entreprises françaises souhaitant développer leur activité à l'étranger, par le biais de leurs outils d'aide financière et de garanties à l'exportation. L'Agence française de développement (AFD) finance des projets sur l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables dans les pays en développement et dans les territoires d'outre-mer.

La marque *France Solar Industry* pilotée par le Syndicat des énergies renouvelables (SER) fournit à l'industrie française et plus particulièrement aux PME et PMI un soutien promotionnel sur le marché international.

Plusieurs initiatives de coopération mobilisent les pays de la rive sud de la Méditerranée :

- MEDENER, l'Association méditerranéenne des agences nationales pour le développement de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables, met en œuvre des stratégies environnementales liées à l'énergie. Le projet MEDCOP21 a été lancé par l'ADEME en juin 2015 à Marseille. Ses 36 actions concrètes visaient à faciliter la transition énergétique et limiter l'impact du changement climatique sur les pays méditerranéens ;

- IMEDER, l'Institut méditerranéen pour les énergies renouvelables, est un groupement d'organisations professionnelles actif dans l'organisation de conférences et d'expositions ;

- SOMED, le réseau des pays méditerranéens, échange informations et expertises sur l'énergie solaire et ses applications. L'INES coordonne les activités du réseau et organise des ateliers tels que la 2<sup>e</sup> réunion à Oran en Algérie, en collaboration avec le salon EER 2015 sur

les énergies renouvelables, les énergies propres et le développement durable (26-28 octobre 2015).

## **4 R&D ET BUDGETS**

### **4.1 Faits marquants de la R&D**

#### **4.1.1 Agences**

La politique française de recherche, développement et innovation (RDI) est mise en œuvre par trois établissements publics sous tutelle gouvernementale : l'ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie), l'ANR (Agence Nationale de la Recherche) et Bpifrance (banque publique d'investissement). Les activités de recherche couvrent des études amont (programme de l'ANR), des projets finalisés (programme de l'ADEME) et des prototypes industriels (programme d'industrialisation de Bpifrance).

Les thèmes de travaux de RDI concernent l'amélioration des performances des composants, la réduction des coûts, l'assurance de la qualité, la fiabilité à long terme et l'intégration des renouvelables aux réseaux d'électricité.

#### **ADEME**

La stratégie RDI 2014-2020 de l'ADEME vise à accompagner la transition énergétique et environnementale. En 2015, l'ADEME a lancé plusieurs appels à projets de recherche (APR) dans le cadre du programme d'Investissements d'avenir (PIA) :

- Appel ENR Énergies renouvelables : le Chapitre 2 couvre les modules PV, les procédés innovants pour la fabrication de matériaux, de cellules et de modules. Il traite également de l'expérimentation, de la validation des systèmes photovoltaïques ainsi que des technologies d'intégration dans la construction ;
- Initiative PME, l'appel destiné aux PME, finance des projets de RDI pour accélérer le développement de méthodologies, de technologies, de services et de solutions innovantes dans le domaine des énergies renouvelables ;
- IA ROU (routes du futur) s'intéresse à la production d'énergie sur les infrastructures routières avec des modules photovoltaïques conçus spécifiquement pour cet usage ;
- AMISYSINT est en charge des systèmes électriques intelligents et mène des études sur l'intégration des énergies renouvelables dans le réseau ;
- APRED couvre la RDI sur les énergies durables.

L'ADEME gère 13 projets de RDI (2014-2015) dont le soutien financier provient soit du programme PIA soit de son propre budget de recherche. Cinq nouveaux projets dans le cadre de partenariats public-privé ont été sélectionnés en 2015 : module intelligent avec micro-onduleur, cellules bifaciales et nouvelle architecture, procédés à pression atmosphérique pour cellules, tuiles PV et études sur la pathologie des modules. Chaque année, l'ADEME accorde une ou deux bourses de doctorat à de jeunes chercheurs qui travaillent sur les thèmes qu'elle juge prioritaires.

L'ADEME est également impliquée dans le co-financement des projets réalisés par les deux réseaux européens de l'ERA-NET : Solar (voir 4.1.2) et Smart Grids Plus.

#### **ANR**

L'Agence Nationale de la Recherche, propose neuf défis de recherche au sein de l'Agenda stratégique national. Parmi eux, le Défi sociétal n° 2 « énergie propre, sûre et efficace », apporte un soutien à la recherche PV de base. En 2015, l'appel à propositions annuel a sélectionné six nouveaux projets de recherche fondamentale sur les pérovskites, les nanofils et un nouveau type d'électrode transparente. Au total, l'ANR est actuellement en charge d'une douzaine de projets de recherche PV.

## **Bpifrance**

La Banque publique d'investissement apporte un soutien financier aux petites et moyennes entreprises, par le biais du Fonds unique interministériel (FUI). Les appels à projets sont lancés sur une base semi-annuelle et ciblés sur les projets d'innovation industrielle. Six projets PV sont actuellement en cours.

### **4.1.2 Équipes de recherche**

En France, les chercheurs du photovoltaïque appartiennent aux laboratoires spécialisés d'établissements nationaux tels que le CNRS et le CEA. Certains de leurs chercheurs sont réunis dans des instituts mixtes comme l'INES ou l'IPVF/IRDEP.

Des universités et des écoles d'ingénieurs supportent des équipes de recherche PV, par exemple : GEEPS (LGEP) à Gif-sur-Yvette ; ICube à Strasbourg ; ILV à Versailles ; IMN2P à Marseille ; INL à Lyon ; LPICM à Palaiseau et SIMaP à Grenoble. Ces équipes comprennent les personnels universitaires et souvent des personnels détachés du CNRS.

Environ 40 équipes de recherche sont impliquées dans des programmes de RDI en partenariats public-privé avec des fabricants de matériaux photovoltaïques. Un certain nombre de projets d'innovation portant sur les systèmes et les matériels sont pris en charge par les entreprises qui ont été sélectionnées à l'occasion des appels d'offres PV de la CRE.

**INES**, l'Institut national de l'énergie solaire associe le personnel de recherche du CEA, du CNRS, de l'Université de Savoie et du CSTB. L'INES est la principale organisation en charge de RDI et de formation sur l'énergie solaire. Son activité photovoltaïque couvre le silicium cristallin (de la matière première aux cellules), les matériaux organiques, les modules photovoltaïques, les composants et les systèmes ainsi que le stockage et les bâtiments à énergie positive. L'institut mène également des études sur la mobilité solaire. La Division formation/évaluation propose des formations PV e-learning.

**IPVF**, l'Institut photovoltaïque d'Île-de-France (IPVF) associe plusieurs équipes de recherche publique à des laboratoires de l'industrie afin de poursuivre des recherches sur les matériaux en couches minces, les procédés et les machines, et de développer des concepts avancés pour les cellules et modules à haut rendement. La construction du bâtiment qui abritera l'IPVF sur le campus de recherche de Paris-Saclay est actuellement en cours d'achèvement.

Au niveau européen, les équipes de recherche ont la possibilité de coopérer avec leurs collègues européens dans les deux programmes SOLAR-ERA.NET et HORIZON 2020 :

- SOLAR-ERA.NET est un réseau d'organismes nationaux et régionaux opérant dans le cadre de l'Espace européen de la recherche. Les participants, dont l'ADEME, mettent en commun des financements pour soutenir des projets ciblés public-privé. La quatrième série d'appels à projets transnationaux PV4 et CSP4 a été lancée le 8 décembre à 2015.

- HORIZON 2020 est le programme de recherche et d'innovation de l'Union européenne. Les informations détaillées sont données sur leur site Internet.

En 2015, la communauté de recherche a participé à deux événements d'importance nationale :

- Du 1<sup>er</sup> au 3 juillet 2015, à Perpignan, le pôle de compétitivité DERBI et la Fédération de recherche sur l'énergie solaire (FédEsol)/CNRS ont accueilli la 9<sup>e</sup> Conférence Internationale DERBI et le 2<sup>e</sup> Congrès JNES (Journées nationales de l'énergie solaire) afin de faciliter l'interaction entre les communautés scientifiques et industrielles. La conférence a réuni 330 experts de l'industrie, des universités et des autorités nationales et locales ;

- Du 1<sup>er</sup> au 4 décembre 2015, à Dourdan, près de Paris, les 5<sup>es</sup> Journées nationales photovoltaïques (JNPV), organisées par le CNRS, la Fédération des laboratoires PV (FedPV) et l'ADEME ont permis à 170 chercheurs PV de présenter leurs travaux sur les matériaux pour cellules photovoltaïques et les outils de caractérisation.

## 4.2 Budgets publics R&D

Les projets de Recherche, développement et innovation (RDI) sont financés par des subventions et/ou des avances remboursables. Les financements proviennent de sources diverses telles que le Programme d'Investissements d'avenir (PIA), le Fonds unique Interministériel (FUI) et les budgets de recherche propres aux Agences.

L'ADEME et l'ANR lancent des appels à projets sur leurs propres ressources ou au titre du programme PIA. Bpifrance s'appuie sur le FUI pour financer les projets qui par ailleurs doivent être soutenus par des pôles de compétitivité tels que Derbi ou Tenerrdis. Les conseils régionaux peuvent également apporter un soutien financier à des projets de RDI.

Les établissements publics de recherche CNRS, CEA et les universités, contribuent financièrement aux projets de recherche par le biais des salaires de leurs personnels et les dotations de fonctionnement de leurs laboratoires. Ces contributions ne sont pas incluses dans les budgets nationaux d'intervention publique du Tableau 17.

**Tableau 17 – Budgets publics RDI 2015**

Organisations publiques	Budget
Budgets d'intervention des agences nationales ADEME, ANR et Bpifrance.	3 MEUR

Le budget pour la stimulation du marché (CSPE) est décrit en 3.1.11.

## 5 ACTIVITE INDUSTRIELLE

Tous les métiers de la chaîne de valeur du secteur photovoltaïque sont représentés.

En amont, on trouve des sociétés qui fabriquent des lingots, des plaques, des cellules et des modules PV et des entreprises qui construisent et développent des machines pour la production. Des sociétés appartenant à de grands groupes proposent des matériaux et des équipements. Les composants et équipements hors modules (BOS) comme les onduleurs, les câbles, les instruments de contrôle, les structures support, les suiveurs solaires, etc. sont également pris en compte. La partie aval de la chaîne de valeur concerne toutes les activités de mise en œuvre : les études, l'intégration des composants, la réalisation, l'exploitation, la maintenance et le recyclage des matériaux.

Ce chapitre s'intéresse plus particulièrement aux entreprises de matériaux et de composants photovoltaïques ayant des usines de fabrication situées en France.

### 5.1 Matériaux, lingots et plaques de silicium cristallin

#### 5.1.1 Matière première silicium

La matière première silicium (*feedstock silicon*) n'est pas fabriquée à l'échelle industrielle en France mais deux sociétés étudient l'élaboration du silicium de qualité solaire photovoltaïque par des procédés métallurgiques (par opposition aux méthodes chimiques traditionnelles) :

- **Ferropem**/FerroAtlántica, Apollon Solar, INES et SIMAP/CNRS collaborent au développement d'une production pilote de 300 t par an. Dans le projet Photosil, l'extraction de traces de bore est réalisée par torche à plasma inductif, opération directement suivie d'une solidification de lingots de silicium. L'objectif actuel des travaux est de réduire les coûts de production (cofinancement ADEME).
- **Emix**, filiale de la société espagnole Grupo FerroAtlántica, est spécialisée dans la coulée électromagnétique en creuset froid. La société participe à un projet mené en Espagne sur la fabrication de silicium de qualité solaire photovoltaïque par la voie métallurgique.

### 5.1.2 *Lingots et plaques de silicium*

Trois sociétés sont présentes dans le domaine de la fabrication des lingots et des plaques de silicium : Photowatt, ECM et S'Tile.

- **Photowatt**/EDF ENR PWT, fondée en 1979 et détenue par EDF ENR depuis mars 2012, est un fabricant verticalement intégré basé à Bourgoin-Jallieu. Les lingots de silicium cristallin sont élaborés par solidification directionnelle. La société partage sa production entre lingots multicristallins et lingots quasi-monocristallins (capacité annuelle : 100 MW équivalent cellule). Pour la découpe des lingots de silicium en plaques, l'industrie utilise des scies à fil. Photowatt a été le pionnier du développement de cette technique en collaboration avec un mécanicien suisse. Les scies à fil sont maintenant utilisées par l'ensemble de l'industrie. La capacité annuelle de découpe de plaques de silicium correspond à 100 MW. La société fabrique également des cellules et des modules (voir 5.2) ;
- **ECM Technologies** développe et commercialise des fours de cristallisation de lingots de silicium multicristallin et quasi-monocristallin (CrystalMax®). Les lingots de section carrée ou rectangulaire peuvent atteindre 800 kg. La compagnie de Grenoble collabore avec Photowatt, le CEA-INES et des équipes de recherche publique ;
- **S'Tile**, installé à Poitiers, propose une alternative à la fabrication de plaques de silicium sans passer par l'étape de découpe de lingots. La ligne pilote de 15 MW permet d'obtenir directement des plaques par frittage de poudre de silicium de qualité métallurgique. Les cellules sont élaborées sur ces plaques par des techniques originales.

**Tableau 18 – Producteurs de matière première, lingots et plaques de silicium**

<b>Fabricants</b>	<b>Technologies et procédés</b>	<b>Capacité de production</b>
Ferropem/FerroAtlántica (Production pilote)	Matière première silicium (grade photovoltaïque) Voie métallurgique	Pilote 300 t/an
Photowatt/EDF ENR PWT	Lingots par solidification directionnelle. Silicium multicristallin (mc-Si) et quasi-monocristallin (qc-Si)	100 MW équivalent
Photowatt/EDF ENR PWT	Plaques minces (< 200 µm). Découpe par scie à fil	100 MW équivalent
S'Tile (production pilote)	Substrats obtenus par frittage de poudre de silicium de qualité métallurgique	Pilote 15 MW/an

### 5.2 **Production de cellules et de modules photovoltaïques**

Les différents fabricants de cellules et de modules photovoltaïques basés en France produisent une gamme étendue de produits. On compte un seul fabricant de cellules au silicium cristallin et neuf fabricants de modules. Le Tableau 19 indique le nom des fabricants avec leur capacité annuelle de production.

**Tableau 19 – Fabricants de cellules et de modules photovoltaïques 2015**

Fabricants de cellules/modules	Technologie	Capacité annuelle de production (MW)	
		Cellule	Module
<i>Fabricants de cellules et de modules à base de silicium cristallin</i>			
<i>Cellules :</i> - Photowatt/EDF ENR PWT	mc-Si, qc-Si	100	
<i>Modules (capacité &gt; 15 MW/an) :</i> - Fonroche Énergie - Francewatts - Photowatt/EDF ENR PWT* - SCNA solar - Sillia VL - Systovi - Sunpower/Total Group - VMH Énergies - Voltec Solar	sc-Si, mc-Si, qc-Si	-	650
Total		<b>100 MW</b>	<b>650 MW</b>
<i>Fabricants de modules à couches minces</i>			
- Nexcis (production pilote)	CIGS Electrodeposition	-	-
- Solems Modules de petite puissance	a-Si:H PECVD	-	-

SOURCE : SER, ADEME.

### 5.2.1 Cellules photovoltaïques au silicium cristallin

**Photowatt**/EDF ENR EDF ENR PWT est un fabricant verticalement intégré (voir 5.1.2). Les cellules sont élaborées à partir de plaques de faible épaisseur (< 200 µm) issues de lingots de silicium. Les cellules sont des jonctions p-n de taille 156 mm × 156 mm. Photowatt fabrique deux sortes de cellules : au silicium multicristallin et au silicium quasi-monocristallin. Le rendement des nouvelles cellules au silicium quasi-monocristallin se situe à mi-chemin entre multicristallin et monocristallin. La capacité annuelle de production de cellules photovoltaïques est de 100 MW. Photowatt conduit des projets de R&D en collaboration avec des partenaires publics, leur objectif étant l'augmentation du rendement de conversion des cellules et la diminution des coûts de production. Une ligne pilote est dédiée à la validation des procédés.

**S'Tile** développe une ligne pilote pour fabriquer des cellules sur des substrats de silicium fritté (voir 5.1.2). Les i-Cells® sont obtenues en connectant sur les substrats de fines feuilles de silicium monocristallin.

### 5.2.2 Cellules photovoltaïques à concentration

Soitec SA développe des cellules photovoltaïques multijonctions GaInP/GaInAs/Ge à partir de technologies propriétaires issues de la microélectronique. Grâce à la collaboration avec l'Institut Fraunhofer ISE et le CEA-LETI, une cellule quadruple jonction a atteint un rendement de conversion record de 46 % (facteur de concentration 500), l'objectif fixé étant de parvenir à 50 %.

### 5.2.3 Modules photovoltaïques

Le Tableau 19 présente la liste des fabricants de modules photovoltaïques dont l'usine de production est située en France.

#### 5.2.3.1 Modules au silicium cristallin

La capacité annuelle de production des neuf fabricants de modules basés en France est estimée à 650 MW. Deux sociétés en place de longue date ont changé de mains au fil des années : Photowatt/EDF ENR PWT et Tenesol/Sunpower.

Photowatt/EDF ENR PWT fabrique des modules à partir de sa propre production de cellules. L'usine est située à Vaulx-Milieu dans l'Isère près de Bourgoin-Jallieu où se fabriquent les lingots, les plaques et les cellules de silicium (voir 5.1.2 et 5.2.1).

Sunpower (filiale du groupe Total) fabrique des modules photovoltaïques à Toulouse. Une usine plus petite à Porcelette produit des modules à partir de laminés photovoltaïques. La société compte deux autres usines de modules aux Philippines et au Mexique. Les modules sont élaborés à partir de cellules au silicium monocristallin à contact arrière, elles-mêmes fabriquées en Malaisie et aux Philippines.

Entre 2008 et 2010, des PME se sont lancées dans la fabrication de modules photovoltaïques à base de cellules au silicium cristallin importées. Certaines de ces entreprises ont cessé leur activité après deux ou trois années de production.

Les fabricants de modules standards avec des capacités de production supérieures à 50 MW/an sont (ordre alphabétique) : Fonroche Énergie, Photowatt, Sillia VL, Sunpower et Voltec Solar. Sillia VL est la compagnie dont la capacité est la plus importante (usines à Lannion et Vénissieux).

Les entreprises françaises fabriquent une large gamme de modules photovoltaïques (standard avec ou sans cadre, laminés, sur mesure, bi-verre, verre/polymère, etc.) adaptés à l'intégration au bâti et aux éléments architecturaux. Pour des applications spécifiques, Luxol et Captelia (Imerys Toiture) fabriquent des tuiles PV et DualSun ainsi que Systovi développent et commercialisent des modules hybrides photovoltaïque-thermique (PV-T).

#### *5.2.3.2 Modules à couches minces*

La France ne compte pas de production industrielle de modules PV à couches minces pour les applications de raccordement au réseau. Solems fabrique des modules au silicium amorphe pour les applications de petite puissance.

Nexcis développe une ligne pilote de modules à base de CIGS par électrodépôt de cuivre, d'indium et de gallium, opération suivie d'un recuit sous atmosphère de soufre et de sélénium. Ce procédé a été initialement étudié par l'institut mixte IRDEP (EDF et CNRS).

Dans le domaine des matériaux organiques pour le photovoltaïque (OPV), la société Armor SA adapte son savoir-faire en techniques d'impression sur film à la fabrication des couches OPV. On notera que l'entrée des matériaux OPV sur le marché de l'énergie nécessite encore un effort de développement.

#### **5.2.4 Suiveurs solaires**

Des projets de centrales au sol avec suiveurs solaires ont été sélectionnés dans les appels d'offres de la CRE. Les sociétés Exosun, Optimum Tracker et HéliosLite proposent des suiveurs à axe simple et à deux axes de rotation et sont impliquées dans des projets nationaux et internationaux.

#### **5.2.5 Recyclage des produits**

Avec la mise en œuvre de la directive DEEE (Déchets d'équipements électriques et électroniques), la gestion des déchets PV est devenue une exigence juridiquement contraignante pour tout importateur ou fabricant de modules PV basé en France. La société PV CYCLE France SAS, issue de l'association européenne PV CYCLE, a été fondée par des acteurs du photovoltaïque en février 2014, pour offrir des solutions de reprise et de recyclage des déchets de l'industrie photovoltaïque.

### **5.3 Autres composants**

Dans la partie la plus en amont du secteur, des entreprises produisent des machines-outils et les équipements nécessaires à la fabrication de lingots de silicium, de cellules et de modules. Les matériaux pour l'industrie (gaz, verres, polymères, graphites, céramiques...) proviennent de sociétés dont certaines sont leaders dans leur domaine.

De nombreuses entreprises françaises proposent tous les matériels et équipements électriques utilisés dans le raccordement, le conditionnement, le contrôle, la mesure et le suivi des systèmes photovoltaïques. Plusieurs entreprises ont mis au point des gammes d'onduleurs et jouent un rôle sur le marché intérieur comme à l'exportation.

Le soutien tarifaire aux installations intégrées au bâtiment a encouragé les industriels à élargir l'offre de produits d'intégration au bâti (IAB) ou d'intégration simplifiée au bâti (ISB). Ces nouveaux produits peuvent obtenir des Avis techniques (Atec PV) et des Pass'Innovation du CSTB ou des ETN (Enquête de technique nouvelle).

Les ombrières photovoltaïques pour les parcs de stationnement sont un segment de marché en pleine croissance. Des entreprises ont conçu de nouveaux types de structures et en ont fait leur spécialité.

Le secteur aval de la filière comprend environ un millier d'entreprises d'installation qui se prévalent de signes de qualité comme QualiPV (mention RGE) délivrés par des organismes professionnels (voir 8.3).

## 6 PHOTOVOLTAÏQUE DANS L'ÉCONOMIE

### 6.1 Emplois

Une étude réalisée pour l'ADEME [9] évalue à 7 400 le nombre d'emplois directs (ETP) sur la chaîne de valeur en 2015 (Tableau 20).

Les variations du nombre d'emplois d'une année sur l'autre sont principalement dues aux activités d'installation, de raccordement et de maintenance.

Le nombre d'emplois dans le secteur de la recherche publique (CNRS, CEA, instituts PV, universités, écoles d'ingénieurs...) est relativement stable avec 900 équivalents temps plein.

**Tableau 20 – Emplois directs PV 2015 (ETP)**

Secteur	Emplois directs
Recherche, développement, innovation (organisations publiques)	900
Éléments de la chaîne de valeur de la filière photovoltaïque : équipementiers, fabrication de cellules et modules, fabrication de systèmes d'intégration et BOS, installation, raccordement, production d'électricité/maintenance.	7 400

SOURCES : ADEME [9], CNRS/Cellule Énergie (prévisionnel).

### 6.2 Valeur de marché

Les installations photovoltaïques ont généré un marché de 1,24 milliards d'euros en 2015 (Source : ADEME [9]).

## 7 INTÉRÊT DES ACTEURS DE L'ÉLECTRICITÉ

### 7.1 Structure du système électrique

Depuis le 1<sup>er</sup> juillet 2007, la production, le commerce et l'approvisionnement sont ouverts à la concurrence, alors que la transmission et la distribution sont restées sous la responsabilité d'entreprises réglementées. Les pouvoirs publics, la Commission de régulation de l'énergie (CRE) et l'Autorité de la concurrence supervisent l'application de la nouvelle réglementation du marché.

Les réseaux de distribution d'électricité appartiennent aux collectivités locales (communes ou groupements de communes), qui sous-traitent la gestion et l'exploitation à ERDF/ENEDIS (95 % du réseau de la France continentale) ou à des entreprises locales de distribution (ELD, 5 %) par le biais d'une délégation de service public. ERDF (nouveau nom ENEDIS), filiale d'EDF, est un opérateur du réseau de distribution créé le 1<sup>er</sup> janvier 2008. RTE (Réseau de

transport d'électricité), qui est également une filiale d'EDF, est responsable de la transmission de l'électricité à haute tension. Les entreprises explorent différentes solutions afin de réduire les coûts d'intégration des énergies renouvelables dans les réseaux de distribution.

Le tarif TURPE d'utilisation des réseaux, payé par les consommateurs d'électricité, a été mis en place pour permettre aux entreprises de distribution d'assurer la maintenance et préparer les réseaux à l'accueil des énergies renouvelables.

## 7.2 Compagnies d'électricité

En France, les deux principales compagnies d'énergie EDF et ENGIE sont impliquées par leurs filiales dans le développement du photovoltaïque. D'autres sociétés plus petites ont été créées afin d'assurer le développement et l'exploitation des énergies renouvelables.

### 7.2.1 *Groupe EDF*

**EDF EN** (EDF Énergies nouvelles), filiale d'EDF créée en 1990, développe, construit et exploite des centrales d'énergies renouvelables en Europe et en Amérique du Nord (9 GW). Fin 2015, la société comptait en France une vingtaine de parcs en service pour environ 300 MW. La filiale EDF EN Services se consacre à l'exploitation et à la maintenance des centrales.

**EDF ENR** (EDF Énergies nouvelles réparties) est une filiale d'EDF EN créée en 2007 avec deux entités :

- EDF ENR SOLAIRE propose des systèmes PV pour tout type de toitures avec des prestations de suivi et de maintenance (environ 14 000 installations) ;
- EDF ENR PWT (Photowatt) fabrique des lingots, des plaques, des cellules et des modules au silicium cristallin (voir 5.1.2 et 5.2.1).

### 7.2.2 *Groupe ENGIE*

**ENGIE** annonçait environ 383 MW de centrales PV en opération fin 2015 avec ses filiales la Compagnie du Vent, la Compagnie nationale du Rhône et Futures Énergies. La société Solairedirect avec son portefeuille de centrales PV a été acquise en juillet 2015.

### 7.2.3 *Autres compagnies et producteurs ER*

À côté des énergéticiens et de leurs filiales, on compte un réseau très actif de développeurs, constructeurs et exploitants. Depuis quelques années, les producteurs indépendants d'énergies renouvelables ont construit de nombreuses centrales photovoltaïques en réponse aux appels d'offres de la CRE (voir 3.1.2).

## 7.3 Collectivités territoriales

Ces dernières années, les conseils régionaux ont élaboré des programmes prévisionnels sur le climat, l'air et l'énergie (SRCAE) et prévu environ 15 GW d'installations photovoltaïques pour 2020. Les programmes régionaux de raccordement au réseau des énergies renouvelables (S3REnR), dont l'objectif est l'adaptation et l'amélioration du réseau, ont déjà été mis en place dans la plupart des régions. Chaque producteur avec une installation de plus de 36 kVA devra contribuer financièrement à la connexion au réseau et à son renforcement.

## 8 NORMES ET QUALIFICATIONS

### 8.1 Normes

L'AFNOR est l'unique organisation représentant la France dans les instances de normalisation au niveau européen (CEN et CENELEC) et au niveau international (ISO et IEC/IEC).

La France ne développe pas de normes sur les composants PV, mais la commission nationale de normalisation photovoltaïque AFNOR/UF 82 composée de 29 experts donne son avis et participe au vote d'acceptation des normes CEI et CENELEC. À la demande de ces organisations, les normes internationales sont traduites en français par l'AFNOR. Elles sont incorporées au système français NF et portent le préfixe NF EN, par exemple, NF EN 61215.

Les systèmes photovoltaïques et les installations se réfèrent à des documents techniques rédigés par la commission AFNOR/UF 15. On citera la nouvelle norme expérimentale récemment publiée *Installations photovoltaïques avec dispositif de stockage et raccordées au réseau de distribution* (AFNOR XP C 15-712-3) qui complète la série des guides *Installations photovoltaïques sans stockage et raccordées au réseau public de distribution* (AFNOR/UTE C 15-712-1) et *Installations photovoltaïques autonomes non raccordées au réseau public de distribution avec stockage par batterie* (AFNOR/UTE C 15-712-2).

## 8.2 Guides techniques

Des documents techniques importants ont été récemment mis à jour : *Maîtriser le risque lié aux installations photovoltaïques* (GIMELEC/SER/ADEME) ; *Que dois-je faire en cas de destruction ou dépose de mon installation PV ?* (EDF OA) ; *Rédaction de descriptifs de travaux, Performance énergétique et autoconsommation* et *Règles de bonne conduite du PV dans le bâtiment* (Fédération française du bâtiment) ; *Guide de raccordement d'une installation de production de puissance inférieure ou égale à 36 kVA* (ERDF) ; *Guide de gestion administrative, budgétaire et fiscale pour un projet photovoltaïque intercommunal* (CRER Poitou-Charentes). D'autres documents ont été mentionnés dans les rapports NSR précédents.

## 8.3 Certification et qualification

Certisolis TC est en France le seul laboratoire d'essais et de certification des modules PV. Le label Certisolis MPV non seulement garantit leur conformité aux normes en vigueur, mais précise également qu'ils subissent chaque année un audit de la qualité de leur conception et de leur fabrication.

Certisolis effectue désormais des contrôles de qualité sur les modules PV dès leur réception sur le site de l'installation.

Le CSTB (Centre scientifique et technique du bâtiment) a mis en place une procédure d'évaluation technique afin de garantir que les produits et les procédés photovoltaïques utilisés sur un bâtiment minimisent les risques d'accident et répondent aux contrats d'assurance classiques. Les évaluations techniques photovoltaïques Atec PV sont accordées pour une période maximale de trois ans. Les Pass'Innovation Vert du CSTB valables deux ans, sont des évaluations simplifiées et une étape facultative avant d'engager une procédure d'Atec.

Pour répondre également aux exigences des assurances, certains produits et procédés utilisés dans le secteur du bâtiment et du PV peuvent être soumis à une évaluation technique privée appelée Enquête de technique nouvelle (ETN). Le rapport d'évaluation ETN est délivré par un bureau de contrôle agréé qui s'appuie sur les informations fournies par le fabricant.

Les associations professionnelles et les autorités administratives ont développé une gamme de recommandations et de labels afin de promouvoir la qualité des produits et des services. Qualit'EnR est une association accréditée spécialisée dans la qualification des entreprises d'énergies renouvelables. L'étiquette Qualit'EnR/QualiPV est disponible en deux versions *QualiPV Module Elec* pour les électriciens et *QualiPV Module Bât* pour les couvreurs. Les entreprises du secteur de la construction et de l'énergie peuvent aussi utiliser d'autres labels de qualité tels que Qualibat (EE/ENR), Qualifelec (SPV) ou Opqibi. Lorsqu'ils sont reconnus par les pouvoirs publics et l'ADEME, ces labels de qualité affichent la mention RGE (Reconnu garant de l'environnement). Depuis le 1<sup>er</sup> juillet 2014, les particuliers qui souhaitent bénéficier d'une subvention publique doivent faire appel à des professionnels ayant obtenu les labels de qualité estampillés RGE et répondant aux exigences de la responsabilité décennale.

L'AQPV (Alliance Qualité Photovoltaïque) permet de reconnaître la qualité des modules (AQPV-modules) et des services des opérateurs (AQPV Contractant général). La marque, propriété du Syndicat des énergies renouvelables (SER), est gérée par Certisolis et Certibat.

## 9 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

En 2015, la production d'énergie renouvelable a augmenté de 26 %, grâce à la contribution de 932 MW d'énergie éolienne et de 879 MW de photovoltaïque. À la fin de l'année, la capacité éolienne s'élevait à 10 308 MW et la capacité photovoltaïque à 6 559 MW.

Au cours de l'année, le gouvernement a promulgué la loi sur la transition énergétique pour la croissance verte et a pris plusieurs mesures en faveur du secteur photovoltaïque. Les autorités politiques se sont montrées très attentives en participant à différents événements dans des instituts de recherche, sur des sites industriels et des installations sur le terrain.

Le ministère de l'Environnement a décidé d'ajouter 820 MW aux volumes cibles des deux appels d'offres en cours, a accordé une augmentation de 10 % sur le tarif d'achat T4 relatif aux toitures avec intégration simplifiée et a lancé deux nouveaux appels d'offres, l'un pour les systèmes sur bâtiments et l'autre pour les installations photovoltaïques avec stockage dans les zones non interconnectées. Le ministère a également publié le calendrier de lancement de nouveaux appels d'offres pour un total de 4,35 GW répartis sur trois ans.

Parallèlement aux politiques nationales, plusieurs conseils régionaux ont émis des appels à projets sur l'autoconsommation.

Toutes ces mesures ont été bien accueillies par l'industrie solaire.

La loi sur la transition énergétique pour la croissance verte a été promulguée en août 2015. La loi crée un nouveau mécanisme de soutien pour les projets d'énergies renouvelables d'une puissance supérieure à 0,5 MW (à compter du 1<sup>er</sup> janvier 2017), selon lequel l'énergie électrique sera vendue directement sur le marché de l'électricité et bénéficiera d'un complément de rémunération.

La Conférence des Nations Unies sur les changements climatiques (COP21) s'est tenue à Paris en décembre 2015. Les dirigeants de 195 pays présents ont adopté l'Accord de Paris. Même si les énergies renouvelables ne figuraient pas sur la liste des priorités, quelques événements parallèles ont cependant été favorables au secteur PV, comme par exemple, le lancement par l'Inde et la France d'une Alliance solaire internationale pour stimuler l'utilisation de l'énergie solaire dans les pays en développement avec pour objectif l'installation de 1 000 GW d'ici 2030.

### Perspectives

En 2015, le ministère a publié un calendrier des nouveaux appels d'offres photovoltaïques totalisant 4,35 GW sur trois ans et programmé une capacité comprise entre 18 GW et 20 GW pour la fin 2023. La loi sur la transition énergétique prévoit que d'ici 2030, 40 % de la production d'énergie électrique devrait provenir des énergies renouvelables, et l'ADEME a présenté une étude prospective *Mix électrique 100 % renouvelable ? - Analyses et optimisations 2050*. Quant à l'industrie, elle a maintenu son objectif de 20 GW pour 2020. ɹ