

## **Pollution atmosphérique**

ISSN : 2268-3798

Publisher : Association pour la Prévention de la Pollution Atmosphérique

223 | 2014

Varia

---

# La production d'électricité photovoltaïque en France

Isabelle Roussel

---

 <https://www.peren-revues.fr/pollutionatmospherique/4674>

DOI : 10.4267/pollution-atmospherique.4674

### **Electronic reference**

Isabelle Roussel, « La production d'électricité photovoltaïque en France », *Pollution atmosphérique* [Online], 223 | 2014, Online since 05 janvier 2015, connection on 24 février 2026. URL : <https://www.peren-revues.fr/pollutionatmospherique/4674>

### **Copyright**

CC-BY

# La production d'électricité photovoltaïque en France

Isabelle Roussel

## OUTLINE

---

1. Une rapide augmentation des installations liées aux aides mises en place
  2. Un facteur de charge modeste
  3. L'intermittence du PV en France
  4. Quelles solutions peut-on apporter pour lutter contre l'intermittence ?
    - 4.1 Foisonnement par interconnexions ?
    - 4.2 Stocker massivement l'électricité ?
    - 4.3 Autoconsommation locale ?
- Conclusion

## TEXT

---

- 1 Cet exemple du développement d'une énergie renouvelable a été analysé, de manière beaucoup plus technique, par Frédéric Livet<sup>1</sup> :
- 2 (<http://www.sauvonsleclimat.org/production-denergie/energies-renouvelables/la-production-delectricite-photovoltaique-de-la-france.html>)
- 3 C'est un simple résumé de cette étude qui est présenté ici.
- 4 Depuis quelques années, les toits exposés au sud sont de plus en plus nombreux à être couverts de panneaux photovoltaïques. Quel est exactement le poids de cette nouvelle source d'énergie dans ce qu'il est convenu d'appeler le mix énergétique français ? La France s'est engagée à produire 23 % d'énergie renouvelable ; en 2011, la proportion des énergies renouvelables était, en France, de 13,1 %, contre 10,3 % en 2005, note la Cour des comptes<sup>2</sup> qui ajoute que cette évolution du mix énergétique français a coûté 14,3 milliards d'euros en sept ans et que « la situation favorable de la France en matière d'ENR est avant tout le reflet du développement ancien de l'hydroélectricité et de la combustion de bois de chauffage dans nos habitations ». Quels sont les enjeux liés au développement de cette énergie renouvelable ? Certes, il s'agit d'une énergie propre mais qui n'est pas sans présenter

quelques inconvénients qui vont devoir être surmontés pour arriver à limiter l'utilisation de combustibles fossiles. Quel est l'avenir de cette source d'énergie, encore très marginale en France, alors que l'installation de panneaux photovoltaïques explose dans le monde ?

- 5 La puissance nominale des installations photovoltaïques (PV) en France a atteint fin 2013, 4,33 GW, valeur proche donc de ce qui était inscrit dans la loi Grenelle (5.4 GW en 2020). Le rythme d'installation de ces panneaux est tributaire de la situation économique et surtout des aides attribuées sous différentes formes. L'intermittence de ce type de production d'électricité pose des questions techniques sans doute plus faciles à surmonter que la question des prix dont l'acceptabilité dépend de stratégies politiques fixées collectivement.

## 1. Une rapide augmentation des installations liées aux aides mises en place

- 6 La figure 1<sup>3</sup> résume bien l'évolution du parc : une expansion très rapide après le Grenelle, en 2010-2011, due à des aides perçues sur le prix des installations et à des tarifs très favorables d'achat, suivie par un moratoire, expliqué dans le rapport Charpin<sup>4</sup>, et enfin par la négociation avec les professionnels<sup>5</sup>, aboutissant à de nouveaux tarifs prenant en compte la diminution des prix des installations pour éviter les effets d'aubaine.
- 7 **La promotion de la production d'électricité photovoltaïque a été encouragée par des aides** au moment de l'achat et de l'installation des panneaux : il s'agit notamment du crédit d'impôt développement durable (devenu nouvellement Crédit d'Impôt Transition Énergétique, CITE, un dispositif simplifié avec un taux unique de 30 %).
- 8 Le dispositif bénéficie également de l'obligation faite à EDF de racheter l'électricité produite au tarif arrêté par le ministre chargé de l'énergie après avis de la Commission de Régulation de l'Énergie (CRE) et contractualisé pour une durée de 20 ans. La charge résultant de cette obligation est remboursée aux fournisseurs d'électricité grâce à une partie de la « Charge de Service Public d'Électricité<sup>6</sup> » (CSPE), payée par l'ensemble des consommateurs d'électricité.

- 9 Le tarif était particulièrement avantageux, et on avait assisté, avant le moratoire, à une explosion de hangars agricoles destinés à tirer profit de cette manne.
- 10 Le dispositif, trop coûteux pour la collectivité, a été revu. En effet, ce rapport estimait à 800 M€ en 2010 la contribution du PV au déficit de la balance commerciale, puisque les panneaux installés étaient très majoritairement importés. Le rapport de la Cour des comptes soulignait « *qu'en 2011, en raison d'un mauvais calibrage des tarifs de rachat de l'électricité photovoltaïque (<http://www.actu-environnement.com/ae/news/renouvelables-debat-national-transition-energetique-18400.php4>), la filière solaire avait capté 62 % de la CSPE au titre des énergies renouvelables, alors qu'elle ne représentait que 2,7 % des énergies électriques renouvelables. Autrement dit, un MWh d'énergie solaire entraînait une dépense de rachat de 500 €, alors que cette dépense était de 34 € pour l'éolien et 20 € pour la biomasse* ».
- 11 En outre, pour 2013, le subventionnement de l'électricité renouvelable, à la charge des consommateurs *via* la CSPE, a été estimé par la CRE autour de 2,1 G€ pour le PV ; ce chiffre augmentait chaque année de 100 M€/an, engageant fortement EDF, puisque les contrats passés ont une durée de vie de 20 ans. La CRE a estimé que cela conduirait à une augmentation du tarif électricité de 22,5 €/MWh en début 2014. Le gouvernement a limité cette contribution à 16,5 €/MWh. Cette politique de facturation incomplète du surcoût des renouvelables a abouti en Espagne à une dette de 26 G€, avec un quasi-arrêt des subventions aux renouvelables et des nouveaux projets (l'emploi dans le PV y a chuté de 70 000 en 2009 à moins de 20 000).

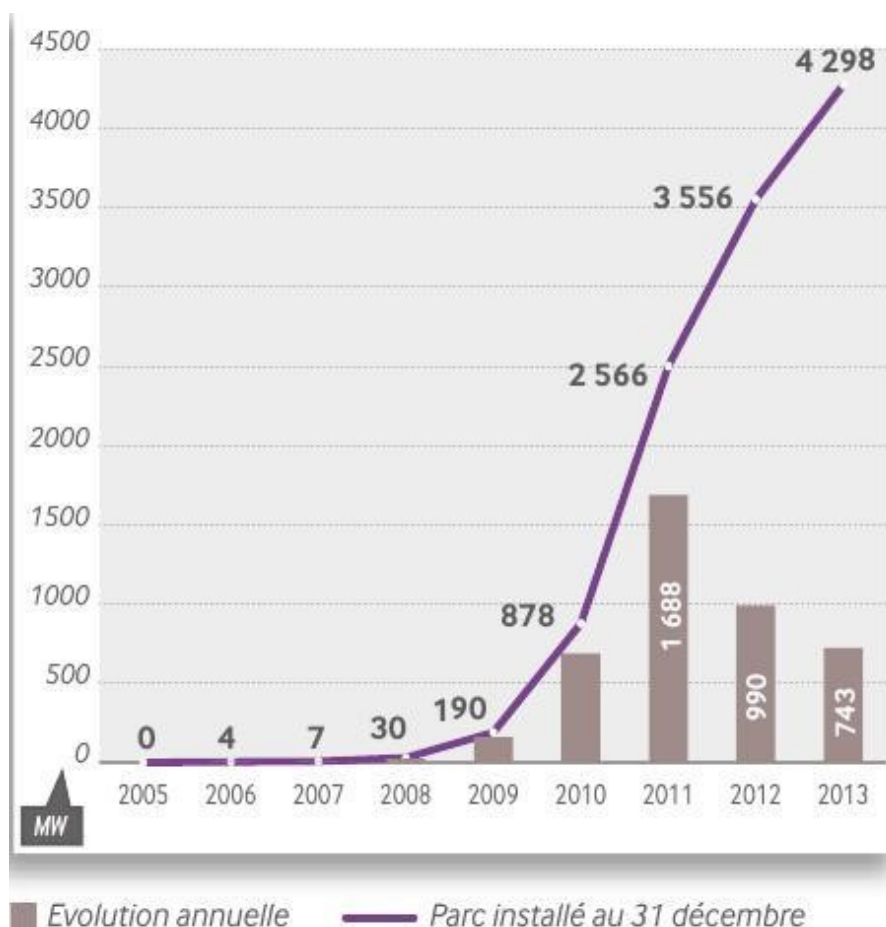


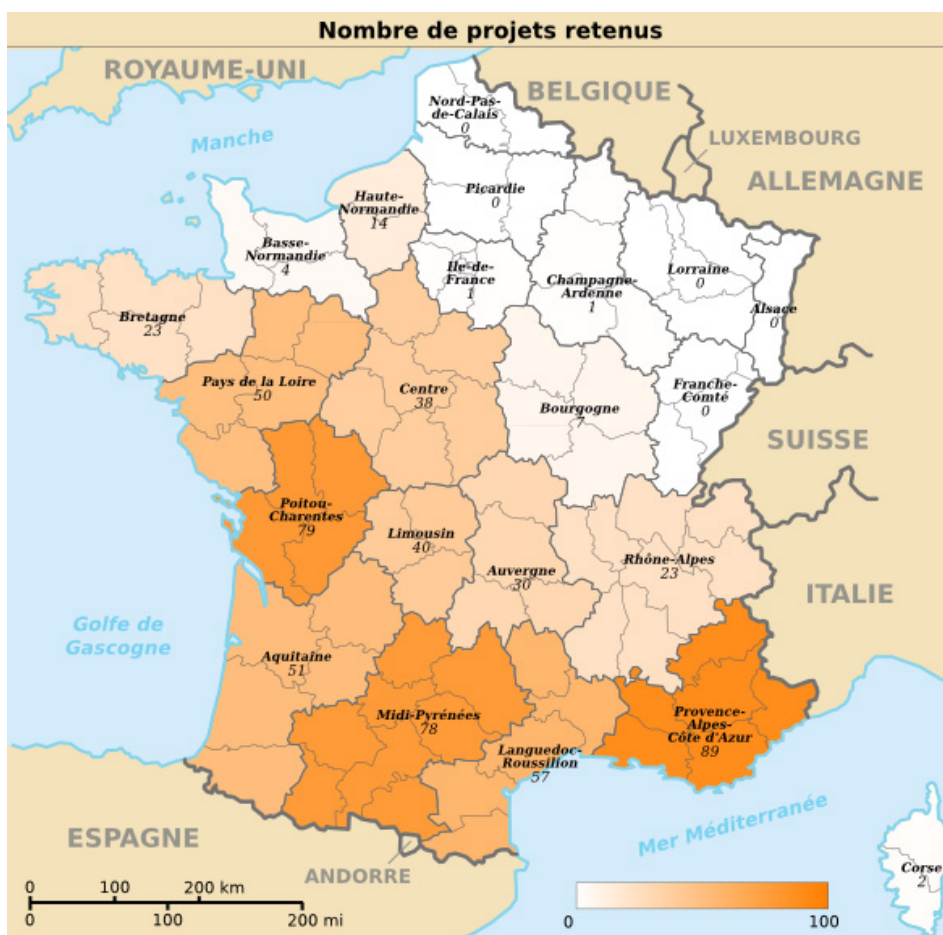
Figure 1. Puissance PV installée par année et puissance cumulée (d'après RTE9).

Les nouveaux tarifs adoptés ont une structure complexe : le tarif « intégré au bâti » (0-9 kWc) reste très élevé : 285 €/MWh en début 2014, mais il s'élevait à 580 €/MWh au 31 août 2010. Les projets de plus grande taille ont des tarifs d'obligation d'achat beaucoup moins intéressants et sont maintenant essentiellement sélectionnés par Appel d'Offres (AO) et avis de la CRE. Ces coûts pour l'énergie PV « brute » restent beaucoup plus élevés que ceux du marché de gros de l'électricité produite industriellement, alors qu'ils sont injectés de la même manière et en priorité sur le réseau de RTE.

**Le coût de production de l'électricité photovoltaïque est élevé**

Le prix de cette production électrique, encore peu mature, devrait baisser en raison de l'essor de la production mondiale. Le prix des modules ne cesse de baisser et les technologies progressent. C'est pourquoi les aides financières, plutôt que de soutenir les prix, devraient s'orienter vers des investissements pour développer des technologies nouvelles et plus performantes.

Les tarifs d'achat pour l'électricité photovoltaïque sont régulièrement revus à la baisse selon la délibération publiée par la Commission de Régulation de l'Énergie (CRE).



**Figure 2. Nombre de projets PV de moyenne puissance retenus en 2014 par le ministère de l'Écologie (source : MEDDE).**

## 2. Un facteur de charge modeste

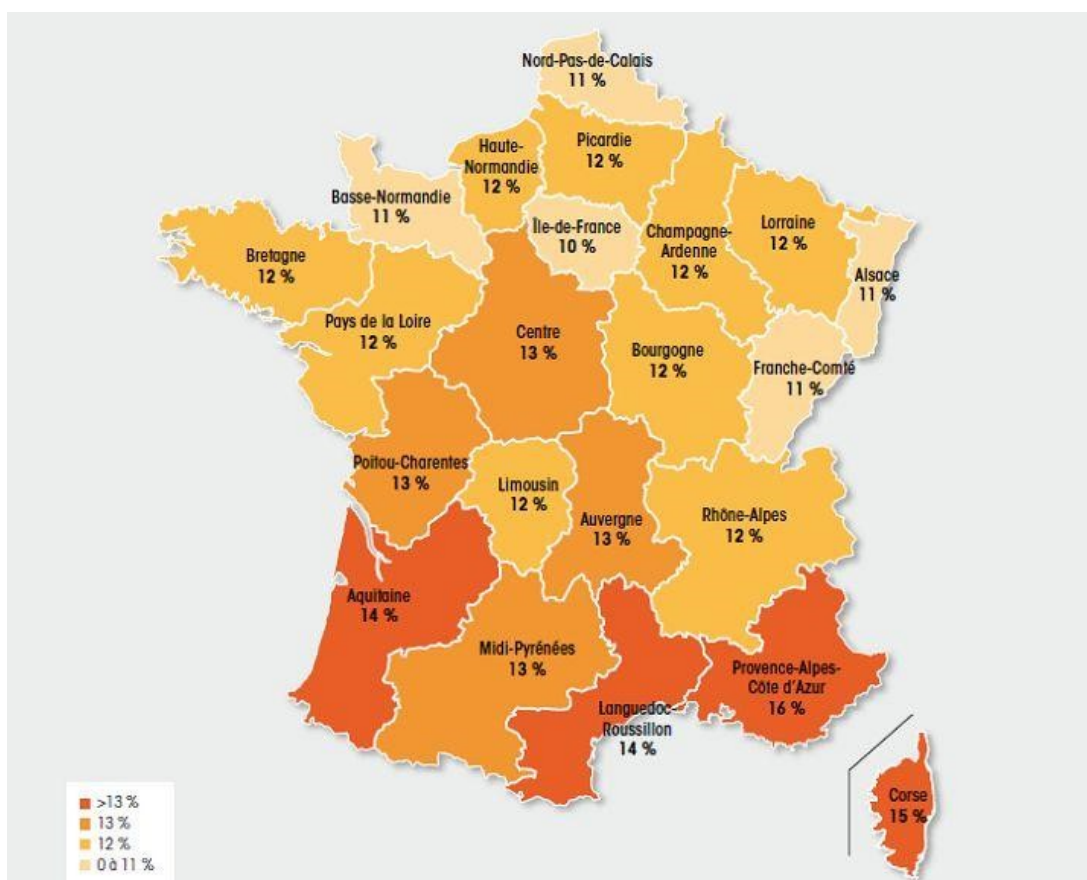
- 12 Le facteur de charge est le rapport de la production annuelle (en TWh) répartie selon le nombre d'heures de production, rapportée aux 8 760 heures de l'année. Le facteur de charge global est modeste (4,6 TWh produits pour 4 GW installés sur la moyenne de l'année 2013, soit 13 % ou 1 150 heures équivalentes pleine puissance). Même dans

des régions ensoleillées, la production reste modeste (figure 3) et, pour l'ensemble de la France, cette production est marginale (moins de 1 % en moyenne).

Pays, région	Puissance installée (GW, moy. année)	Production (TWh)	Heures équiv. heures/an	Facteur de charge
France 2013	3,95	4,6	1163	13 %
Allemagne 2013	34	29	851	9,6 %
Espagne 2012	4,8	8,2	1708	19 %
Italie 2013	17	19,4	1141	12,9 %

**Tableau 1. Performances des installations PV dans divers pays.**

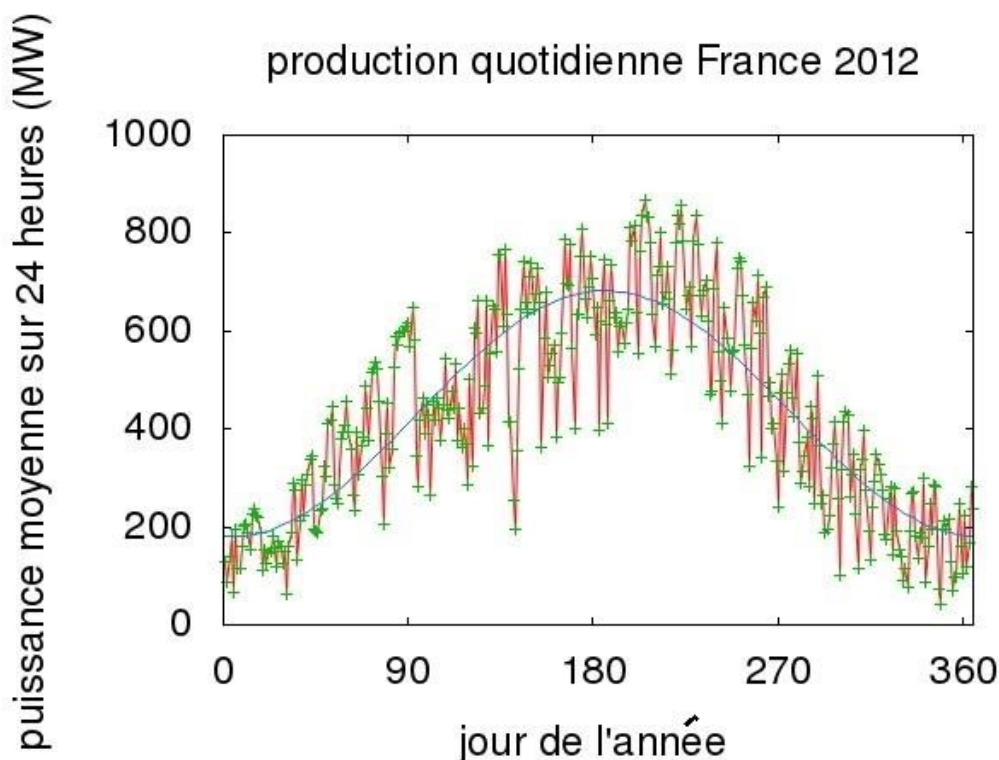
- 13 L'Allemagne, en dépit d'un facteur de charge inférieur à celui des autres pays européens (tableau 1), reste le premier pays européen producteur.



**Figure 3. Carte régionale des facteurs de charge (d'après RTE).**

### 3. L'intermittence du PV en France

- 14 Le PV accumule trois principaux facteurs d'intermittence, qui rendent son utilisation difficile comme source importante de production électrique : intermittence due aux alternances jour/nuit, intermittence saisonnière, et intermittence jour après jour due aux nébulosités variables. Ces deux dernières sont particulièrement fortes dans les pays tempérés : fréquentes périodes nuageuses et saisons accentuées.



**Figure 4. Puissance moyenne quotidienne en 2012 et estimation de la variabilité saisonnière (source RTE).**

Le lever/coucher du soleil s'accompagne en été d'une montée en puissance moyenne à l'échelle du pays de près de 1 GW en une heure. La durée du jour, et donc du potentiel d'insolation, dépend de la latitude et de la saison.

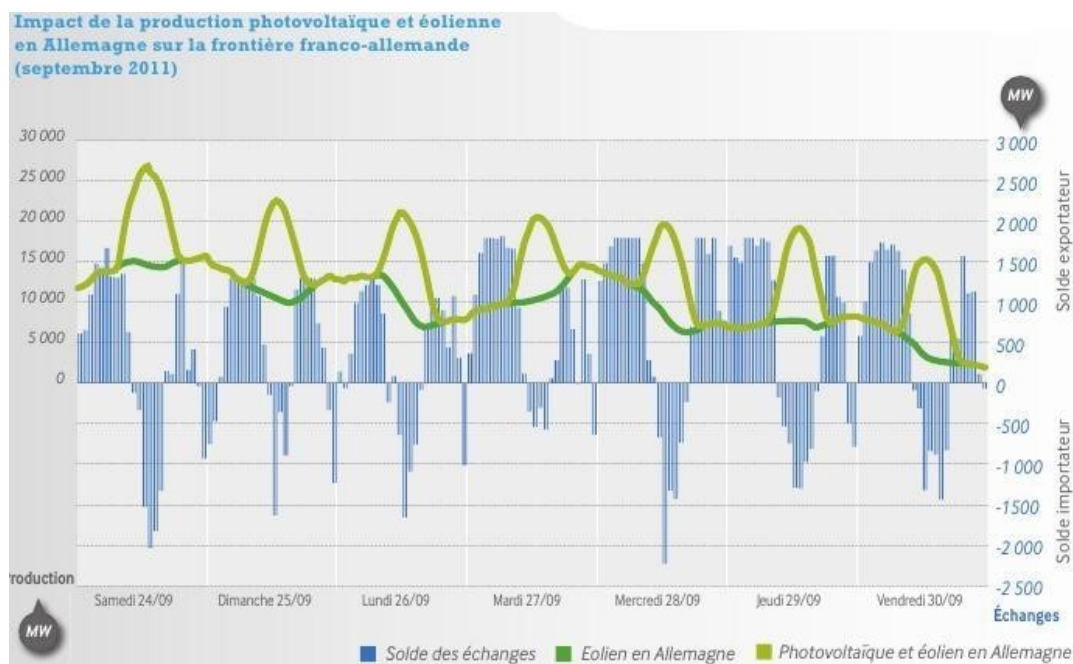
Une modulation saisonnière s'observe aussi si on représente les variations de la puissance quotidienne toute l'année, comme sur la figure 4. D'un jour à l'autre, la variation de la production est forte dans les pays tempérés, puisque la nébulosité peut être très variable.

L'intermittence liée aux aléas de l'ensoleillement est en général plus forte dans les régions septentrionales qui présentent une forte alternance de périodes de beau/mauvais temps. L'effet de ces variations est accru si on prend en compte la persistance de ces périodes de beau/mauvais temps.

## **4. Quelles solutions peut-on apporter pour lutter contre l'intermittence ?**

- 15 Actuellement, la production PV reste marginale (1 % de la production française), et son intermittence, même dans un mois favorable, est permise par une modulation des puissances des centrales classiques, voire des barrages qui répondent aisément à ces faibles variations. Cependant, dans la perspective de l'augmentation de la part des renouvelables, il faut envisager d'augmenter la modulation de la puissance des centrales nucléaires pour éviter d'avoir recours aux énergies fossiles.
- 16 Le couplage avec des éoliennes fonctionnant l'hiver permet d'atténuer les variations saisonnières, mais ne résout en aucun cas l'intermittence de ces deux sources d'électricité renouvelables. Pour pallier ce problème, on envisage deux méthodes : interconnecter pour mutualiser par « foisonnement » les productions aléatoires, ou stocker l'électricité sous une autre forme pour la restituer plus tard.

## 4.1 Foisonnement par interconnexions ?



**Figure 5. Les échanges franco-allemands sont modulés par la production PV+éolien (source RTE).**

L'interconnexion peut "lisser" les passages locaux de nuages, orages, mais cela ne peut compenser ni l'alternance jour/nuit, ni la météorologie générale du pays, ni évidemment le caractère saisonnier de cette production. La faible extension de l'Europe ne peut guère compenser l'alternance jour/nuit. Par contre, on voit assez bien sur la figure 5 l'effet du très fort développement du PV en Allemagne. Cette figure indique que les montées en puissance quotidiennes du PV allemand aboutissent à un très important transfert vers la France : par exemple, une brutale montée le 24 septembre 2011 vers midi de 10 GW se traduit par un flux de 2 GW vers la France (et un saut de 3,5 GW des échanges).

Comme le même phénomène affecte les frontières de l'Allemagne avec la Suisse, l'Autriche et la Tchéquie, on voit que la production PV n'est pas en Allemagne une production consommée localement.

## 4.2 Stocker massivement l'électricité ?

- 17 Actuellement, la seule méthode qui permet de stocker massivement l'électricité est hydraulique. Les installations dites STEP (Stations de Transfert d'Énergie par Pompage), développées pour stocker les surplus nucléaires d'heures creuses pour restituer cette énergie en heures pleines, ont un rendement du cycle électricité-pompage-électricité autour de 70 % et un coût d'investissement raisonnable. Bien que ce soit là le moyen le moins cher, aucun nouveau projet n'est en cours de réalisation en France, et il est très difficile de faire de nouveaux barrages en Europe.

## 4.3 Autoconsommation locale ?

- 18 Produire de l'énergie au niveau local avec quelques panneaux PV et quelques éoliennes relève encore du rêve qui ne peut être réalisé qu'avec de petites communautés qui ne seraient pas (ou peu) connectées au réseau.
- 19 Actuellement, le mot d'autoconsommation est entendu sans stockage, donc quand le soleil brille. Cela ne résout pas le problème de l'intermittence, mais peut limiter les surcoûts d'interconnexion inhérents à des systèmes dispersés. Le prix du stockage domestique est très élevé, de l'ordre de 1000 €/KWh. Ces procédés sont en général basés sur le stockage électrochimique. Le surcoût le moins élevé semble être des systèmes à base de batteries au lithium<sup>7</sup>, mais cela double au moins le prix de revient de l'électricité PV.
- 20 Le stockage basé sur l'hydrogène fait l'objet de beaucoup de recherches, mais son prix de revient semble encore plus élevé, surtout à cause du mauvais rendement du cycle électricité-hydrogène-électricité (de l'ordre de 30 %, encore plus bas si on veut utiliser le méthane).

## Conclusion

- 21 La production d'électricité PV a connu une rapide baisse des prix, due au développement mondial de cette industrie. Les coûts des modules, qui représentent 40 % de l'investissement total, ont chuté au cours des dernières années, ce qui permet d'envisager une diminution des

aides publiques. Pour que son subventionnement en Europe ne devienne plus nécessaire, il faudrait mieux valoriser les bénéfices environnementaux des énergies renouvelables, comme le conseille la Cour des comptes en préconisant : « *un meilleur fonctionnement du marché des quotas carbone pourrait y contribuer, ainsi que le développement de la fiscalité sur le carbone* (<http://www.actu-environnement.com/actu/news/fiscalite-ecologique-CFE-rapport-etape-Perthuis-taxe-carbone-diesel-artificialisation-sols-TGAP-dechets-19111.php4>). ». Indépendamment du signal-prix, on voit s'esquisser l'émergence d'un mix énergétique avec une part importante accordée aux énergies renouvelables. Cette orientation repose sur l'adhésion de la population qui doit accepter de participer financièrement à ce nouveau énergétique dès maintenant pour préparer l'avenir pour des raisons stratégiques et environnementales. Le problème de l'intermittence de l'électricité photovoltaïque reste entier. Actuellement, par les belles journées ensoleillées, l'afflux de production renouvelable que les électriciens sont obligés d'acheter aboutit, quand ces derniers veulent commercialiser les surplus, à des prix parfois négatifs quand ils sont écoulés sur le marché. La production éolienne n'est pas en mesure de compenser les périodes sans soleil, et pour éviter les énergies fossiles et leur nocivité, la solution du nucléaire s'impose pour l'instant en France... Mais elle ouvre un autre débat...

## NOTES

---

1 SIMaP, UMR CNRS 5266, INPG-UJF, BP 75 38402-St Martin d'Hères, France.

e-mail:frederic.livet@simap.grenoble-inp.fr

2 Rapport de la Cour des comptes, juillet 2013. [En ligne] : <http://www.ccomptes.fr/Publications/Publications/La-politique-de-developpement-des-energies-renouvelables>

3 [http://www.rtefrance.com/uploads/Media-theque\\_docs/vie\\_systeme/annuelles/Bilan\\_electrique/bilan\\_electrique\\_2013.PDF](http://www.rtefrance.com/uploads/Media-theque_docs/vie_systeme/annuelles/Bilan_electrique/bilan_electrique_2013.PDF)

4 [http://www.cgeiet.economie.gouv.fr/Rapports/2010\\_07\\_31\\_1\\_Rapport\\_Regulation\\_et](http://www.cgeiet.economie.gouv.fr/Rapports/2010_07_31_1_Rapport_Regulation_et)

developpement\_filiere\_photovoltaique\_en\_france.pdf

5

[http://www.cgeiet.economie.gouv.fr/Rapports/2011\\_02\\_21\\_20110217\\_concertation\\_phot](http://www.cgeiet.economie.gouv.fr/Rapports/2011_02_21_20110217_concertation_phot)

6 Il a été institué *via* la loi n° 2000-108, pour financer les charges dites de solidarité, et étendu ensuite à la promotion des énergies renouvelables.

7 Voir, par exemple

: [http://www.saftbatteries.com/force\\_download/ESS+\\_MarketBrochure+\\_en\\_0412\\_Prote](http://www.saftbatteries.com/force_download/ESS+_MarketBrochure+_en_0412_Prote)

## AUTHOR

---

Isabelle Roussel