

31-01-2017



## Le photovoltaïque peut-il remplacer le nucléaire ?

### Résumé

La Loi de Transition Energétique pour la Croissance Verte (LTECV) prévoit qu'un tiers de la production nucléaire devrait être remplacée par les énergies renouvelables éolienne et photovoltaïque dès 2025 tandis que l'ADEME vante son scénario 100% de renouvelable pour 2050. Or pendant ce mois de décembre 2016, pourtant exceptionnellement ensoleillé, la production photovoltaïque n'a représenté que 0,6% de la consommation d'électricité, à comparer à 73% pour le nucléaire. Après avoir montré que le remplacement du nucléaire par l'éolien conduirait à un surcoût d'investissement de 1500 mds€<sup>1</sup>, nous analysons ici, le cas du remplacement du nucléaire par le photovoltaïque. Dans les conditions françaises, nous trouvons que le remplacement du nucléaire par le photovoltaïque conduirait, lui, à un surcoût d'investissement de 1230 mds€. La situation serait meilleure dans les pays bénéficiant d'un ensoleillement important pendant toute l'année.

### Caractéristiques de la production photovoltaïque

Le mois de décembre est, avec celui de janvier, le moins ensoleillé de l'année. Si la production photovoltaïque s'avère capable de remplacer le nucléaire pour ce mois, elle le pourra d'autant mieux pour les autres mois.

---

<sup>1</sup> Voir <http://www.sauvonsleclimat.org/le-vent-ou-le-nucleaire/35-fparticles/1951-le-vent-ou-le-nucleaire.html>

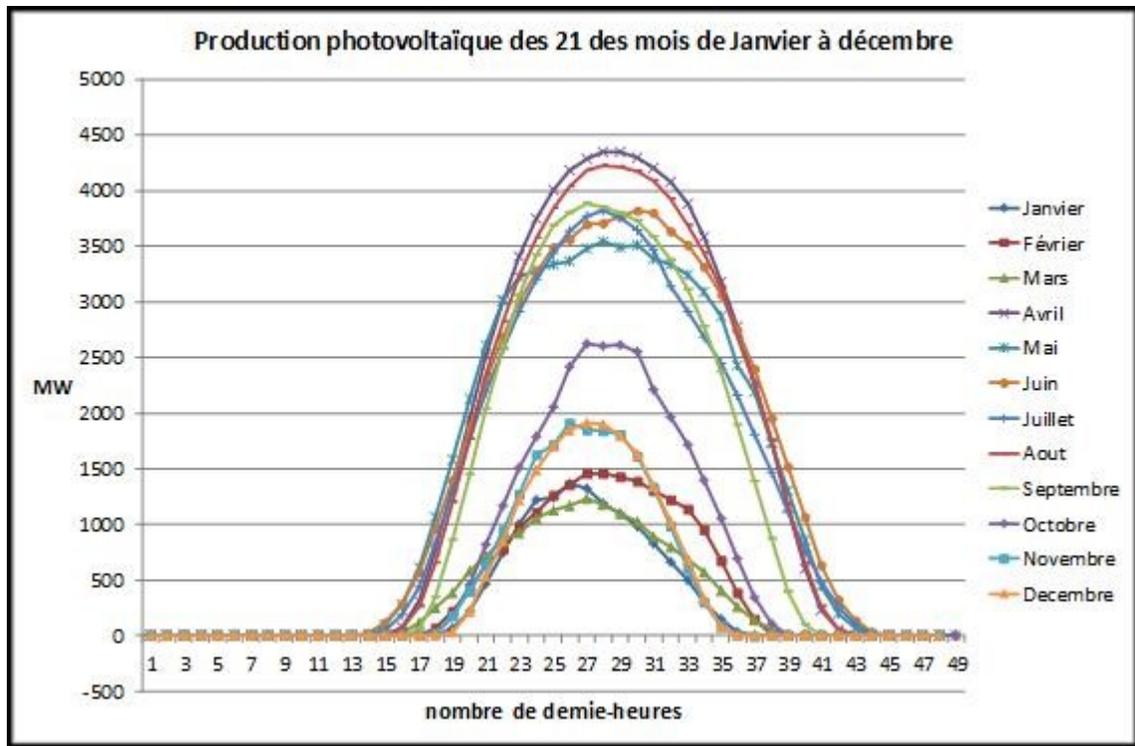


Figure 1

Production photovoltaïque en France, les 21 des mois de juin à décembre 2015.

Données extraites du site eco2mix de RTE : <http://www.rte-france.com/fr/article/eco2mix>

La Figure 1 montre l'évolution de la production photovoltaïque en 2015, les 21 des mois de janvier à décembre 2015. Cette production présente un maximum vers midi (heure solaire) et, bien sûr, disparaît la nuit. Si on veut que le photovoltaïque remplace le nucléaire, production pilotable et fonctionnant en base, il faut évidemment lisser la production photovoltaïque grâce à un stockage de sa production pendant au moins une journée.

La Figure 2 représente la production photovoltaïque en France au mois de décembre 2016 (exceptionnellement ensoleillé). Elle est relativement régulière, surtout si on la compare à la production éolienne<sup>1</sup>. La méthode de RTE pour obtenir les productions journalières est équivalente, mathématiquement, à un stockage sur 24 heures qui supprime les pics journaliers de la production photovoltaïque. Dans la réalité, le stockage ne peut, évidemment pas, se réduire à un concept mathématique. La Figure 2 montre donc qu'un stockage de 24 heures suffit pour lisser la production tout en supprimant les pics de production en milieu de journée et l'effondrement de cette production pendant la nuit. On observe, toutefois, une baisse notable de la production (40 %) du 19 au 26 décembre. Nous supposons que de telles irrégularités qui semblent rares selon les données de RTE, pourront être partiellement traitées par une marge suffisante sur la capacité de production, une

modulation de la demande et (ou) grâce à la production hydroélectrique. Le problème majeur de la production photovoltaïque est son caractère saisonnier, comme on peut le voir sur la Figure 3. La production journalière en décembre est 4 fois plus faible que celle de juin et 2 fois plus faible que la moyenne sur l'année.

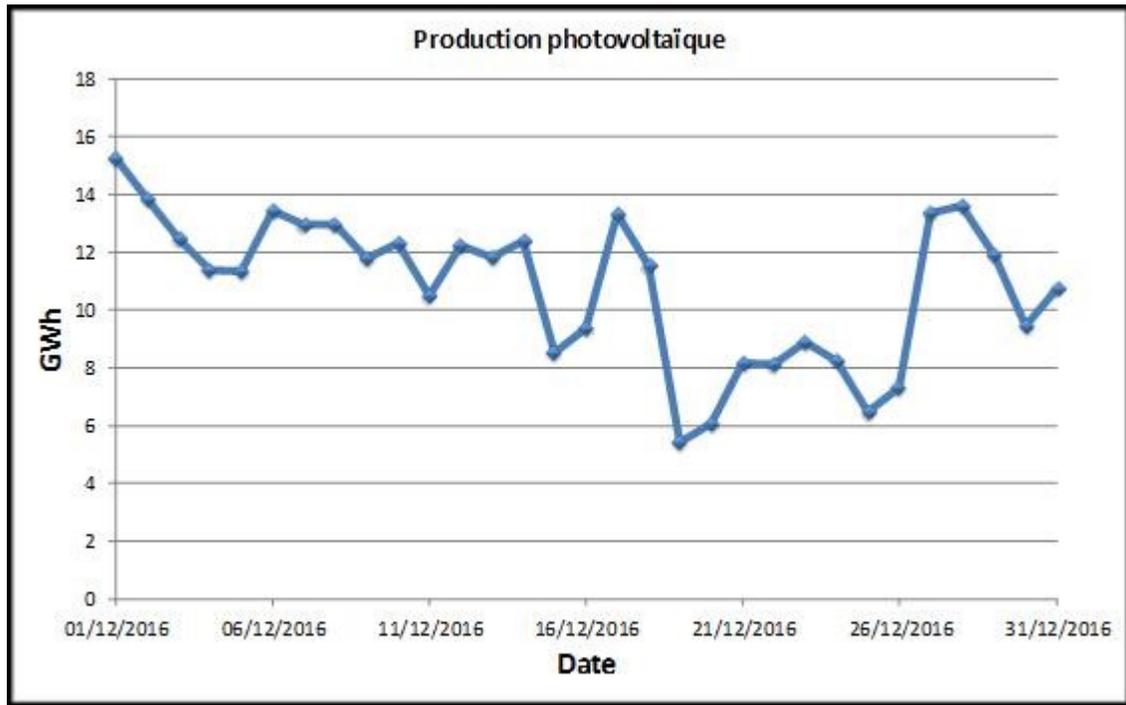


Figure 2

Evolution de la production photovoltaïque journalière au mois de décembre 2016

Données extraites du site eco2mix de RTE : <http://www.rte-france.com/fr/article/eco2mix>

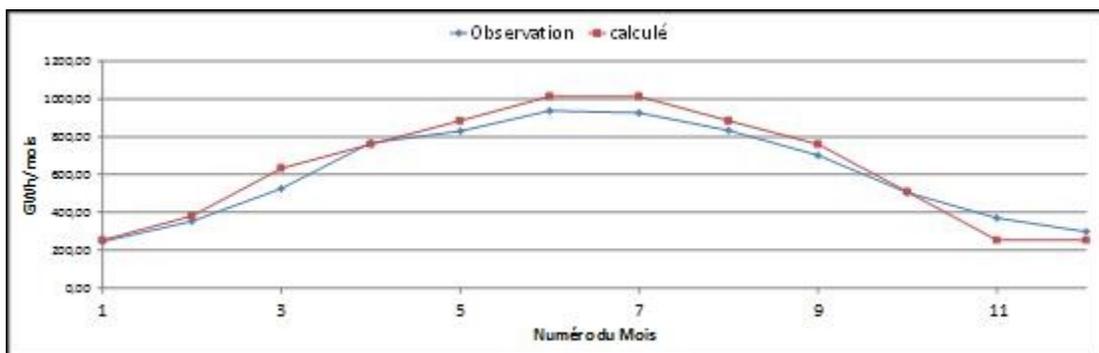


Figure 3

Production photovoltaïque mensuelle. La valeur moyenne de la production mensuelle est de 607 GWh

En bleu les données observées de RTE, en rouge, valeurs calculées à partir de la durée d'ensoleillement à Paris

La Figure 4 donne le rapport entre les productions nucléaire et photovoltaïque. Ce rapport nous servira comme facteur d'échelle pour les caractéristiques du parc photovoltaïque supposé, à lui seul, remplacer la production nucléaire. Nous retiendrons un facteur moyen de 150 qui assure, pratiquement, de faire face à la demande dans tous les cas, y compris des chutes de production de l'ordre de 50%.

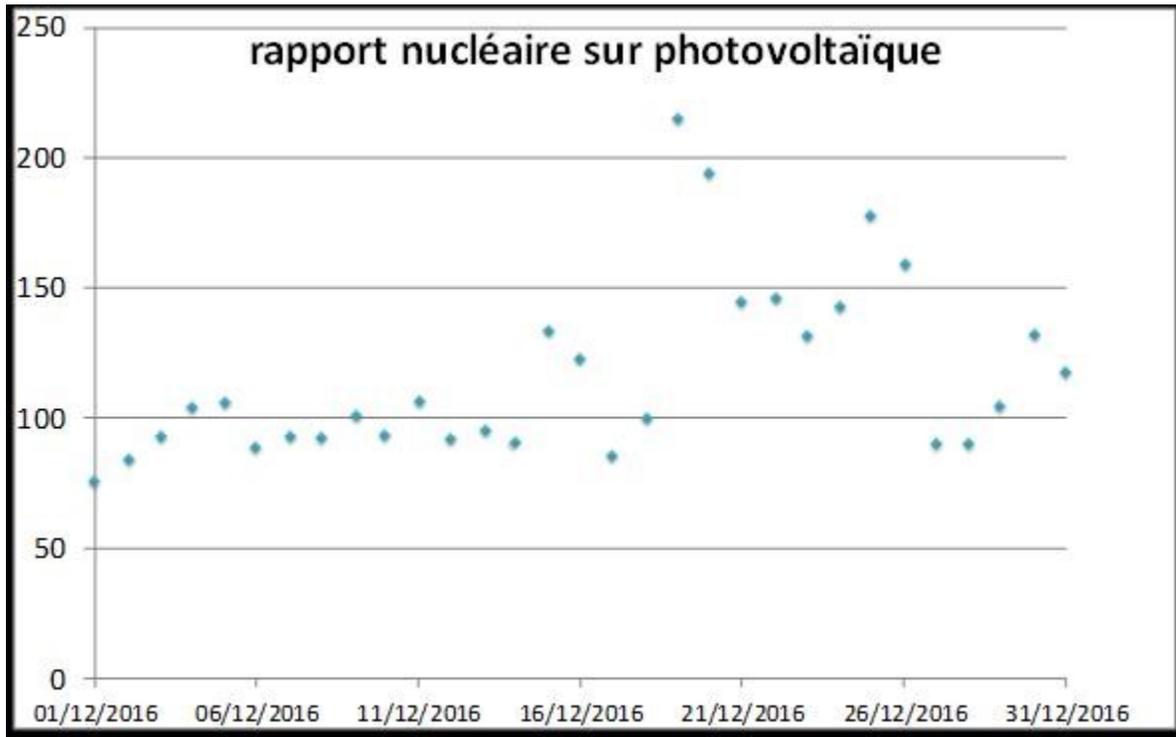


Figure 4

Evolution du rapport entre productions nucléaire et photovoltaïque en décembre 2016

Dans ces conditions, pour remplacer la production nucléaire, la production photovoltaïque lissée sur 24 heures devrait atteindre 1500 GWh/jour après stockage. La puissance photovoltaïque actuelle de 5,5 GWc<sup>2</sup> passerait à 900 GWc, en tenant compte des pertes au stockage.

## Estimation des coûts

### Coût du stockage

Le coût du stockage électrochimique décroît assez rapidement et on peut espérer que le coût d'investissement actuel de 350 €/kWh stocké diminue à 220 €/kWh à l'horizon 2020<sup>3</sup>. L'investissement pour 1500 GWh atteindrait donc 330 mds d'euros.

<sup>2</sup> Milliard de Watts crête.

<sup>3</sup> The rechargeable Battery Market and main trends 2014-2015 by Christophe Pillot, AVICENNE ENERGY

## Coût de la production

Pour de grandes installations le coût des installations photovoltaïques est de l'ordre de 1€/Wc<sup>4</sup>, soit un coût total d'investissement de 900 mds d'euros.

## Coût minimum de remplacement du nucléaire par du photovoltaïque.

On arrive donc à un coût minimum de remplacement du nucléaire de 1230 mds d'euros. Ce chiffre est à comparer aux 330 mds d'euros d'investissements qui seraient nécessaires pour remplacer le parc actuel de réacteurs par des EPR (on suppose un coût de 5 euros par watt).

## Importance de l'effet saisonnier

Un système appelé à remplacer le nucléaire doit fournir des services au moins égaux à ceux fournis par le nucléaire lui-même. Par exemple, il doit être à même de fournir un courant fiable à tout moment. Le revers de la médaille est que, dans certaines conditions, le système peut être surdimensionné. C'est le cas du photovoltaïque sous nos latitudes, comme on le voit sur la Figure 3: un système adapté pour le mois de décembre est largement surdimensionné en Juin. Ceci entraîne des surcoûts qui peuvent être considérables. Bien évidemment, l'investissement est d'autant plus coûteux que les installations sont situées aux hautes latitudes. La Table 1 donne les durées d'ensoleillement pour différentes villes de latitude variables. Dans la mesure où on exige que la production solaire réponde aux besoins, même pour les périodes de faible insolation, cette production devient excédentaire pour l'insolation moyennée sur l'année, et, a fortiori, pour les mois bien ensoleillés. La colonne F de la Table donne un exemple du suréquipement photovoltaïque nécessaire. La production photovoltaïque est fortement corrélée à l'ensoleillement comme on le voit sur la Figure 3. En France on peut donc considérer que l'investissement en photovoltaïque est multiplié par un facteur 2,5 si on veut compenser la baisse de la productivité par rapport à la moyenne au mois de décembre.

---

<sup>4</sup> Enerpresse du 3/12/2015, donne 1,2 €/W installé, que nous diminuons à 1€/W installé, compte tenu de l'évolution des coûts. Cette estimation est aussi donnée par l'initiative TWI. Il s'agit de coûts pour des installations industrielles de capteurs posés sur le sol qui sont beaucoup moins onéreux que les capteurs installés sur des habitats individuels. Par contre, il est possible que les coûts de réseaux soient sousestimés.

A	B	C	D	E	F
Ville	Latitude	Durée d'ensoleillement Décembre (heures)	Durée d'ensoleillement Juin (heures)	Durée d'ensoleillement moyen (heures)	Rapport E/C
Stockholm	59,3	1	11	5,4	5,4
Copenhague	55,7	1	8	3,75	3,75
Paris	48,8	2	8	5	2,5
Madrid	37,7	5	12	7,75	1,55
Alger	36,7	5	10	7	1,4
Marrakech	31,4	7	11	8	1,1
Guadeloupe	17	7	8	7,5	1,1
Dakar	14,7	8	10	9	1,1
Singapore	1,2	5	6	6	1,2
Rio de Janeiro	-22,9	6	6	6	1

Table 1

Durées d'ensoleillement en décembre et juin dans différentes villes.

Ces durées dépendent de la latitude mais aussi de la nébulosité.

La Figure 5 montre qu'au-delà d'une latitude d'environ 30 degrés (éventuellement plus selon les conditions climatiques locales) le surcoût augmente très rapidement. Dans les conditions optimisées d'ensoleillement les coûts discutés plus haut doivent être revus à la baisse. Le facteur d'échelle serait de 100 plutôt que 150, dans la mesure où on peut considérer que la baisse de la production observée sur la Figure 2 pourrait ne pas se produire, ce qui réduit le besoin de stockage à 1000 GWh, pour un coût de 220 mds d'euros. En tenant compte de la disparition de l'effet saisonnier le coût de production pourrait être divisé par 2,5 et ramené à 240 mds d'euros. Le coût total du remplacement du nucléaire par le photovoltaïque permettant de produire 1000 GWh/jour atteindrait donc 460 mds d'euros. Dans ces conditions, les centrales solaires avec stockage sur 24 heures pourraient être une alternative crédible aux réacteurs nucléaires, d'autant plus qu'elle sont compatibles avec un système décentralisé de production.

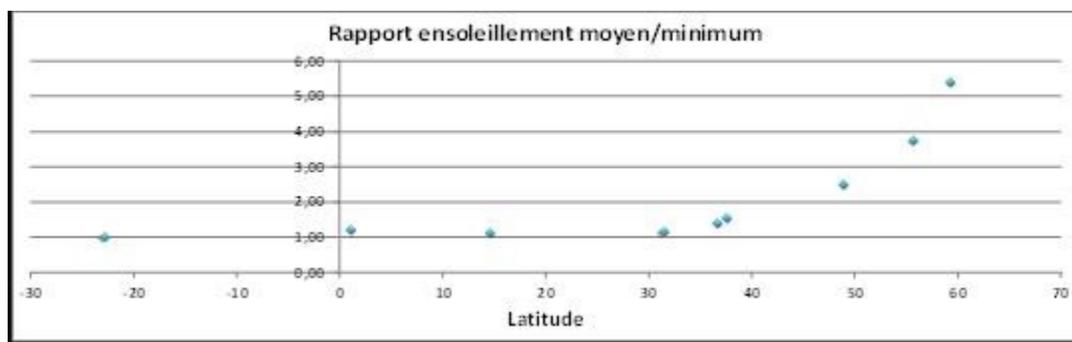


Figure 5

Evolution de l'effet saisonnier sur l'ensoleillement en fonction de la latitude

## Conclusion

La production photovoltaïque présente des variations journalières rapides qui peuvent être gérées par un stockage réalisé par des batteries sur 24 heures. On voit aussi apparaître des baisses de production pouvant atteindre 50% en France, dont nous tenons compte en prévoyant une surproduction qui devrait être ajustée selon les zones géographiques. Elle présente enfin des variations saisonnières qu'on ne sait pas gérer à l'échelle requise. Dans l'hypothèse d'un remplacement de la production nucléaire il faut donc que la production photovoltaïque soit suffisante pour fournir la demande, même lorsque les conditions d'ensoleillement sont défavorables. Pour les latitudes supérieures à 30 degrés cette contrainte entraîne des surcoûts importants : augmentation de la puissance photovoltaïque de 250% en France, de 550% en Suède. En France, le remplacement du nucléaire par le photovoltaïque conduirait à un surcoût d'investissement de 1230 mds d'Euros, sans compter le développement des réseaux. Remarquons que, alors que la durée de vie des réacteurs nucléaires est estimée entre 40 et 60 ans, celle des parcs photovoltaïques serait plutôt de 20 ans. Dans ces conditions, « Sauvons Le Climat » considère que le remplacement d'une part importante de la production nucléaire par une production photovoltaïque est irréaliste économiquement et inutile écologiquement, car sans effet sur les émissions de gaz carbonique. Par contre, pour des latitudes inférieures à 30 degrés, l'effet saisonnier disparaissant pratiquement, une production photovoltaïque pourrait présenter de l'intérêt, moyennant un stockage journalier.

« Sauvons Le Climat » considère que le soutien public aux nouvelles installations de production photovoltaïques dépourvues d'un moyen de stockage au moins journalier doit être supprimé. La Recherche et Développement sur le stockage électrochimique (orientée vers des batteries à bas coût et faible impact environnemental) doit bénéficier d'une priorité. Une puissante industrie européenne de fabrication de batteries est une nécessité. L'industrie française de la production et du stockage du courant photovoltaïque ne pourra se développer qu'à l'exportation dans des régions tropicales ou subtropicales, en tirant partie de la situation de nos départements d'outremer. Il s'agit de reprendre les idées pionnières de Patrick Jourde et Claude Birraux<sup>5</sup>, et de trouver les voies du financement (micro-crédits, mécanismes de développement propres, Banque Mondiale,...) de systèmes de production et de stockage intégrés de courant photovoltaïque, de tailles variables adaptées aux besoins locaux.

---

<sup>5</sup> Etat actuel et perspectives techniques des énergies renouvelables Claude Birraux-JY Le Déault  
PECST décembre 2001 Assemblée nationale N°3415