

# Le prix du kWh photovoltaïque, entre 3 et 30 centimes/kWh

J-Bernard Jeanneret, 21 octobre 2017, clubenergie2051.ch.

La presse nous relate régulièrement des annonces de baisses de prix spectaculaires du prix de revient du kilowattheure (kWh) photo-voltaïque. Il serait aujourd'hui proche de 6ct, sinon encore moins cher. S'y ajoute le commentaire que c'est la source d'énergie électrique la moins chère du marché. Mais on sait aussi que les nouvelles installations seront fortement subventionnés pour encore de nombreuses années.

Nous essayons de montrer ici que de gros malentendus entretenus volontairement ou non sont à la base de ces informations contradictoires. De fait, le prix d'une installation photo-voltaïque résidentielle en Suisse implique toujours un coût de production d'environ 30 ct/kWh.

Le 18 Septembre, le site américain greentechmedia informe que le Département de l'Energie (DOE) annonce "officiellement" que le seuil de prix de 1\$/Watt installé a été atteint pour le photovoltaïque [gtm]. Soit un prix du kWh de 6 ct (nous utiliserons 1\$ = 1CHF, 1 cent = 1¢ = 1 centime, les € sont aussi convertis en CHF, 1€ = 1.15 CHF).

L'an dernier le site français des techniques de l'ingénieur titrait : record du monde de compétitivité du solaire photovoltaïque : 3 ct/kWh à Dubaï [tifr].

Pour y voir plus clair, la différence de productivité solaire entre les sites considérés est donnée dans la Table 1. Les données sont extraites du site PVGIS de l'Union Européenne [pvgis]. Ce site propose un calculateur bien fait. Il couvre tout le globe et donne des puissances d'irradiation solaire déduites de mesures satellitaires. Il en déduit la production annuelle en kWh par kW de puissance crête installée (kWc). On choisit une localité, le prix du kilo-Watt-crête (kWc) installé, etc.

Table 1 : production d'électricité photovoltaïque relative entre régions

Région	production énergie PV kWh/an/KWc installé	Rapport région/Suisse
Suisse	1110	1.00
USA/Kansas	1500	1.35
Sud France	1530	1.38
Dubaï	1810	1.63

Il faut aussi différencier le type d'installation, voir Table 2. "Résidentiel" désigne une installation sur une maison individuelle, "commercial" une installation sur un toit de grange ou d'usine et "industriel" une grande installation couvrant un kilomètre carré de sol ou plus.

Table 2 : Prix de production du kWh [ct. suisse], selon type d'installation et région, voir texte.

Installation	Puissance [kWc]	US - DOE	CH	CH-PVGIS	CH - DOE	Sud France	Dubaï-offre	Dubaï-réel
Residentiel	< 10 kWc	16	30	29	27			
Commercial	200 kWc	11	20 - 22	-	18			
Industriel	100 MWc	6	> 11	-	-	8	3 - 4.5	6

#### Installation résidentielle

Commençons par les prix US. La Table 2 montre que les 6ct/KWh bruyamment annoncés s'appliquent aux grandes installations industrielles (colonne US-DOE). Le prix du résidentiel estimé par le DOE est à 16 ct/kWh. Pour transposer ce chiffre à la Suisse, il faut le corriger du rapport d'insolation moyen entre les deux pays. Le DOE donne l'état du Kansas comme moyenne du pays [doe]. Le rapport Kansas/Suisse est de 1.35. Il faut encore le corriger de l'écart du prix de main d'oeuvre d'installation, en supposant que le prix du matériel est le même. Du rapport du DOE [doe], on déduit très approximativement que la main d'oeuvre d'installation compte pour plus de 26% du prix. Le tarif horaire des électriciens est double en Suisse [elch],[doe]. Il faut donc multiplier le prix US par 1.35 fois 1.26, soit par plus de 1.7 (colonne CH-DOE).

Nous obtenons le prix Suisse (Table 2, colonne CH) avec un prix du matériel installé de 4150.-/kWc donné dans une offre ferme de Romande Energie. Ce prix est hors-subvention et "avantage fiscal" mais un rabais spécial de 317.-/kWc est déduit. Nous calculons un amortissement linéaire sur une durée de vie de 35 ans (intérêt 4%) et 2% de coûts d'entretien par an, voir note 1.

Le prix CH-PVGIS de la Table 2 est obtenu avec le calculateur [pvgis] pour le prix de base de 4150.-, avec un taux d'intérêt de 5% [huld] et une formule de coût financier un peu plus compliquée que la nôtre [huld].

Malgré plusieurs incertitudes (différences de prix du matériel et de cout de main-d'oeuvre CH/UE/USA, différences de taxes ou exemptions de taxes, et manière d'estimer un peu différentes), les trois estimations pour le PV résidentiel sont proches, à plus ou moins 5% de 28.5 ct/kWh.

#### Installation commerciale

Pour le prix du kWh "commercial", nous transposons le prix US-DOE comme pour le résidentiel (ici main-d'oeuvre 20% du prix), soit 18ct/kWh (colonne CH-DOE). Chiffre à comparer aux 20-22 ct/kWh donnés comme limite de rentabilité par une coopérative agricole romande [comch]. Ici aussi, peu de surprises.

#### Installation industrielle

Pour une installation industrielle, le DOE donne un coût du de 1\$/Wc = 1CHF/Wc installé, pour un kWh à 6 ct [gtm,doe]. Avec pratiquement le même ensoleillement (Table 1) le kWh est estimé à 8 ct au sud de la France [tifr], voir aussi [cestas].

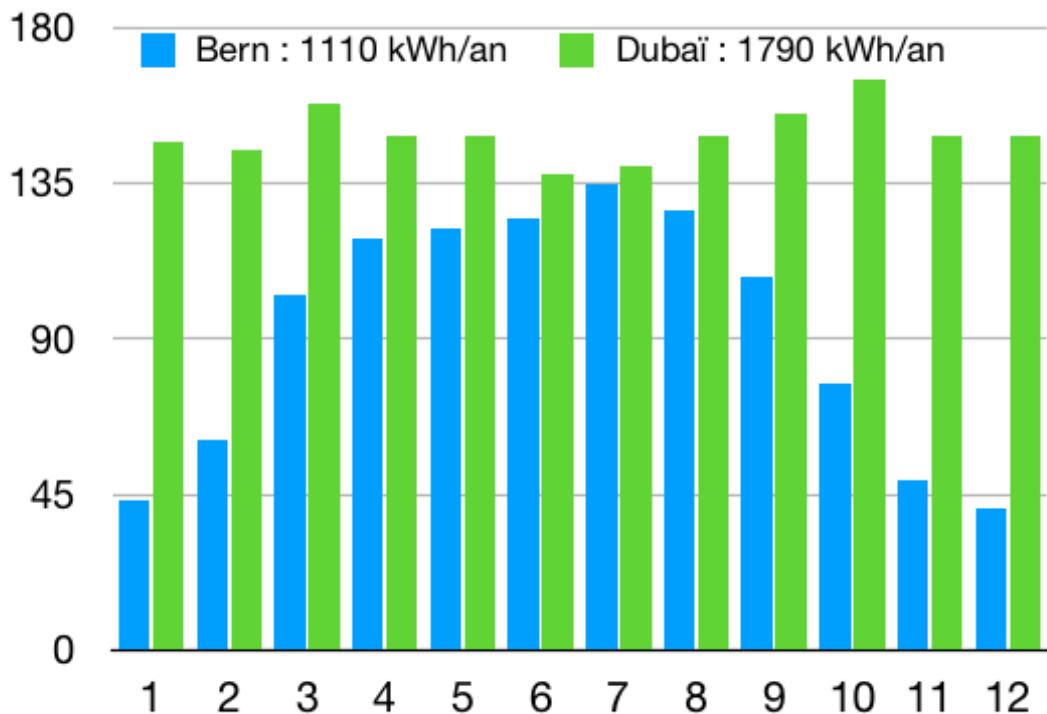
Pour le projet Dubaï, le chiffre de 3ct/kWh donné dans [tifr] est la réponse la plus basse à une demande d'offre. Les autres offres étaient dans une fourchette comprise entre 3.7 et 4.5 centimes. On comprend que la gigantisme du projet (5 GWc installés en 2030) suscite des appétits et donc des sous-enchères, ce que confirme l'article [tifr] pour l'offre la plus basse tout au moins. Alors que cet

article est daté de Mai 2016, des informations plus récentes (Juillet 2017) sont données dans [dubsp]. On y lit que le consortium ACWA, qui avait fait une offre à 4ct/kWh, a été retenu et a construit une installation de 260 MWc pour 320 M\$, soit 1.23 CHF/Wc. L'installation est opérationnelle depuis mars 2017. L'exploitant reçoit contractuellement 5.89 ct/kWh [dubsp] (soit 50% au-dessus de leur réponse à la demande d'offre ...).

Transposé à l'ensoleillement du Kansas ou du sud de la France, on obtient 7.1 ct/kWh, à comparer avec les 8ct mentionnés plus haut. On peut supposer que la main-d'oeuvre est un plus chère en France. Quand au chiffre de 6 ct/kWh du DOE, c'est le calcul d'une administration. Le Rapport [doe] dit n'avoir pas toujours les mêmes chiffres que ceux donnés par l'industrie, sans dire qui est moins cher. On peut donc penser que le DOE est un peu optimiste.

Et on est donc loin des 3 ct/kWh de l'article [tifr] qui se montre peu critique, sinon un peu naïf. L'auteur semble en particulier ne pas remarquer que l'enthousiasme des grands groupes industriels tient à des grands projets compétitifs dans les régions désertiques ou semi-désertiques proches des tropiques, où l'irradiation solaire est très élevée et régulière au long de l'année. Cet enthousiasme n'est pas de mise en Europe continentale. La figure 1 montre la production photovoltaïque en fonction du mois en Suisse et à Dubaï. La productivité annuelle n'est pas seulement 60% plus élevée à Dubaï: le problème du déficit hivernal n'y existe tout simplement pas.

**Figure 1 : Photovoltaïque : Production électrique en kWh/mois par kW crête.**



Les installations industrielles ne sont pas une option dans la Stratégie énergétique 2050. On peut tout de même donner un seuil de prix avec l'estimation à 8 ct/kWh du sud de la France, qu'on multiplie par le rapport d'insolation de 1.38 (Table 1). On obtient un seuil de prix de 11 ct/kWh, qui devrait être augmenté d'un supplément dû au coût de la main-d'oeuvre.

## En résumé

Les affirmations de prix de courant photovoltaïque (PV) compétitif en Suisse ne sont pas sérieuses, et des affirmations de coût de quelques ct./kWh encore moins. Sans grosse surprise scientifique ou technique, le PV résidentiel qui est supposé produire l'essentiel de la production restera très probablement supérieur à 20 ct/kWh à la sortie de l'installation pendant très longtemps et peut-être encore en 2050. Et il faudra y ajouter les coûts très élevés de gestion de l'intermittence et du déficit saisonnier, que personne ne se risque à chiffrer, surtout chez les défenseurs de la stratégie énergétique 2050.

## Notes

1. Pour le calcul du prix du kWh résidentiel, nous utilisons la formule suivante:

$$c = C_0 (1 + n e + n i / 2) / n E$$

$C_0 = 4150$  CHF est le coût du projet par kWc,  $n = 35$  le nombre d'années de fonctionnement et d'amortissement,  $e = 0.02$  le coût d'entretien (en fraction de  $C_0$ ) [huld],  $i = 0.04$  le taux d'intérêt annuel, et  $E = 955$  kWh/an/kWc la production électrique. Cette dernière basée sur le chiffre brut de la Table 1,  $E_0 = 1110$  kWh/an/kWc, corrigée de la perte due au vieillissement du silicium (3/1000 par an en moyenne sur la durée de vie) et à la perte de conversion dans l'onduleur (4%).

2. Au sujet du projet CESTAS près de Bordeaux, avec la même irradiation solaire que pour les sud de la France. Pour 300MWc installés, extrait de [cestas]:

*Avec 260 hectares couverts, ce parc photovoltaïque, le plus important d'Europe, est quatre fois plus puissant par hectare, que les autres parcs construits en France. « Qu'est ce que l'on a voulu montrer avec ça ? Eh bien que le photovoltaïque avait atteint en France une maturité technologique lui permettant de s'insérer avec beaucoup de sobriété dans les territoires » poursuit Xavier Barbaro. Cette centrale est ainsi capable de produire en une année l'équivalent de la consommation domestique de l'ensemble de la population de Bordeaux. Côté compétitivité, l'électricité solaire produite à Cestas est achetée par EDF au prix de 105 euros le MWh (donc : 12ct/kWh), un vieux tarif T5 intéressant, hors appel d'offres, mais qui demeure très inférieur à celui du futur (?) EPR britannique. Un T5 désormais anachronique et dont le nouvel indice à 6,45 cts€/kWh (7.4 ct/kWh) interdit tout grand projet de centrale au sol au grand dam des responsables de neoen !*

Les 8 ct/kWh cités dans [tifr] pour le sud de la France semblent être confirmés ici, sinon même un peu optimistes. Il faut encore ajouter que Cestas est fait de panneaux chinois, et a été construit par des travailleurs détachés hongrois. Alors que le PV est supposé créer de bons emplois.

## Références

[cestas] <http://www.oxygn.fr/cestas-la-centrale-solaire-de-tous-les-a95.html>

[comch] Tribune de Geneve , 28.11.2016, Le photovoltaïque, pas rentable à grande échelle [http://www.tdg.ch/geneve/la-cote/Le-photovoltaïque-pas-rentable-a-grande-echelle/story/23061664?campaign\\_id=A100](http://www.tdg.ch/geneve/la-cote/Le-photovoltaïque-pas-rentable-a-grande-echelle/story/23061664?campaign_id=A100)

[dubsp] [https://en.wikipedia.org/wiki/Mohammed\\_bin\\_Rashid\\_Al\\_Maktoum\\_Solar\\_Park](https://en.wikipedia.org/wiki/Mohammed_bin_Rashid_Al_Maktoum_Solar_Park)

[doe] <https://www.nrel.gov/news/press/2017/nrel-report-utility-scale-solar-pv-system-cost-fell-last-year.html> <https://www.nrel.gov/docs/fy17osti/68925.pdf>

slides

<https://www.nrel.gov/docs/fy17osti/68580.pdf>

[elch]

<http://www.bilan.ch/economie/main-doeuvre-suisse-coute-6130-chf>  
cout horaire secondaire+tertiaire 69.-/h (production & distribution énergie)

<http://www.fmb-ge.ch/info-construction/prix-de-regie.html>  
elec qualif 119.- , aide 109.-

[gtm] <https://www.greentechmedia.com/amp/article/doe-officially-hits-sunshot-1-per-watt-goal-for-utility-scale-solar>

[huld] structure de coût du PV, utilisé dans le calculateur [PVGIS]

<https://setis.ec.europa.eu/sites/default/files/reports/Cost-Maps-for-Unsubsidised-Photovoltaic-Electricity.pdf>

[pvgis] Calculateur PVGIS-EU

[http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/intro\\_tools.html](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/intro_tools.html)  
[http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html#PVP](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVP)

[tifr] <https://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/articles/record-du-monde-de-competitivite-du-solaire-pv-26-centimes-le-kwh-a-dubai-33695/>