



## Renouvelables



### Les énergies renouvelables coûtent-elles trop cher ?

*En France, le débat autour du développement des énergies renouvelables se conclut souvent par : « Le solaire et l'éolien, ça coûte de toute façon trop cher ! » Ces sources d'énergie sont-elles vraiment plus onéreuses que les moyens de production conventionnels ?*



Publié le 19 novembre 2015  
Modifié le 2 octobre 2017

### En quelques mots

La rentabilité de l'hydroélectricité n'est pas contestée et la biomasse a fait ses preuves pour le chauffage des bâtiments. Mais l'électricité issue de l'éolien et du solaire photovoltaïque est-elle plus ou moins coûteuse que celle qui est produite grâce à des énergies conventionnelles (énergies fossiles, nucléaire) ? Il n'existe pas de réponse simple à cette question, car de nombreux facteurs interviennent : la localisation, qui détermine la ressource en vent ou en soleil, les prix futurs des énergies fossiles, les taux d'intérêt... Néanmoins, dans la plupart des pays, l'éolien terrestre et les parcs solaires au sol ont désormais un coût du kilowattheure proche de celui des énergies fossiles et inférieur à celui du nucléaire, quand on prend en compte l'investissement et le coût de fonctionnement.

Le coût de production des énergies renouvelables a baissé massivement au cours des dernières années et la tendance devrait se poursuivre dans les années à venir. Le passage à un mix électrique 100 % renouvelable à l'horizon 2050 est envisageable en France sans surcoût significatif.





UEP/12. • decrypterlenergie.org

Pour le chauffage des bâtiments ou la production d'eau chaude sanitaire, la biomasse offre la solution la plus compétitive du marché. Du côté des renouvelables électriques, l'hydro-électricité est depuis des décennies l'énergie la moins chère du marché. Dans les débats actuels, la question de la compétitivité économique se pose donc, en fait, essentiellement pour l'éolien et le solaire photovoltaïque.

## Le calcul du coût complet actualisé

Plusieurs éléments entrent en compte pour calculer le coût de production de l'électricité, parmi lesquels :

1. le coût d'investissement dans un moyen de production,
2. le coût de fonctionnement (combustibles, maintenance, etc.),
3. le coût de démantèlement des installations,
4. le coût des atteintes à l'environnement et à la santé générées par la production d'électricité,
5. le coût (ou le bénéfice) généré par l'insertion de l'unité de production dans le système électrique.

La comparaison et la compilation de ces coûts ne sont pas aisées car les dépenses ne sont pas engagées au même moment. Si elles le sont rapidement pour l'investissement, elles s'accumulent tout au long de la production pour le fonctionnement et la maintenance et n'interviennent que plusieurs décennies plus tard pour le démantèlement. Pour agréger ces éléments, les coûts sont « actualisés », c'est-à-dire ramenés à l'année initiale en diminuant la valeur (estimée) des coûts futurs, et ce d'autant plus qu'ils se situent loin dans l'avenir. Le montant total actualisé obtenu est ensuite divisé par la production totale estimée sur la durée de vie de la technologie. Le résultat est un ratio en € par kWh, baptisé « coût complet actualisé » ou, en anglais, Levelized cost of electricity (LCOE).

Un calcul économique sans aucune actualisation est difficilement justifiable, notamment car il ne prend pas en compte le fait que les sommes dépensées aujourd'hui sont mobilisées pour un usage futur alors qu'elles seraient susceptibles de profiter dès maintenant à un autre usage. Mais cette actualisation n'est pas sans poser de problèmes : elle minimise les coûts et bénéfices qui auront lieu dans plusieurs décennies, sacrifiant potentiellement l'avenir<sup>1</sup>. Cette observation concerne aussi bien les impacts du changement climatique dus aux combustibles fossiles que les coûts du démantèlement et de la gestion des déchets radioactifs à vie longue provenant des centrales nucléaires.

## Pourquoi ne pas calculer un coût complet actualisé unique et consensuel pour chaque technologie ?

Les études comparant le coût complet actualisé des technologies de production électrique présentent une fourchette de résultats plutôt qu'une seule valeur, et ces fourchettes varient d'une étude à l'autre. Cela s'explique par l'implication de nombreux facteurs, en particulier :

- la localisation du moyen de production, qui influence la ressource en vent ou en soleil ainsi que le coût du raccordement au réseau électrique, de l'installation<sup>1</sup> et de la maintenance ;
- la durée de vie des installations de production et la durée du chantier avant la mise en service, facteurs particulièrement incertains pour les centrales nucléaires ;
- les prix futurs des énergies fossiles, notoirement difficiles à prévoir ;
- le **taux d'actualisation**. Il n'existe pas de consensus sur la valeur à retenir pour ce taux, ni sur le fait que ce dernier soit constant au cours du temps (ce qui constitue la pratique la plus courante) ou plus faible pour les projets concernant le long terme (comme le proposent de nombreux économistes parmi lesquels Arrow et al. (2014)<sup>2</sup>). De plus, les taux d'actualisation retenus pour les calculs économiques publics diffèrent d'un pays à l'autre, et ils sont différents de ceux qui sont pris en compte dans le secteur privé<sup>3</sup>, eux-mêmes différents d'un investisseur à l'autre.

## Quels coûts complets actualisés pour les principales technologies de production d'électricité ?

Plusieurs études fournissent des comparaisons qui se limitent généralement aux deux ou trois premiers éléments cités au début de cet article. Elles ne prennent pas en compte les externalités environnementales des moyens de production analysés (ADEME 2015<sup>4</sup>, AIE 2014<sup>5</sup>, AIE 2015<sup>6</sup>, AIE & OCDE-AEN<sup>7</sup> 2015, BNEF 2015<sup>8</sup>, Lazard 2016<sup>9</sup>, Black & Veatch Corporation 2012<sup>10</sup>). Dans plusieurs de ces études récentes (Lazard 2016), l'éolien terrestre présente un coût complet inférieur au charbon et au gaz. Les parcs photovoltaïques au sol se situent, quant à eux, à un niveau proche de celui des énergies fossiles, mais inférieur au nucléaire. Enfin, l'éolien en mer et le photovoltaïque en toiture restent plus coûteuses que les centrales à gaz mais leur coût est proche de celui du nucléaire et du charbon. Au passage, signalons que les estimations de Lazard (2016) ne sont pas applicables telles quelles en Europe, notamment parce que le prix du gaz y est plus élevé qu'aux États-Unis. De même, dans certains pays européens comme l'Allemagne, le coût d'installation du solaire photovoltaïque est nettement plus faible qu'aux États-Unis (NREL, 2014).

	Lazard (2016) pour les États-Unis – \$/MWh
Éolien à terre	32-62
Charbon	60-143*
Gaz (centrale à cycle combiné)	48-78
Photovoltaïque (parc au sol)	46-61
Nucléaire	97-136**
Éolien en mer	118
Photovoltaïque en toiture, tertiaire et industrie	78-135
Photovoltaïque en toiture, résidentiel	88-193

Tableau 1 : Estimation récente du coût complet actualisé en \$<sub>2016</sub> par MWh

\* Le haut de la fourchette correspond à des centrales munies d'un dispositif de capture du CO<sub>2</sub> (mais pas son transport ni son stockage).

\*\* N'inclut pas le démantèlement.

## Évolutions passées et anticipées du coût complet actualisé

Les estimations du coût complet actualisé évoluent d'année en année pour plusieurs raisons : fluctuations des prix anticipés des énergies fossiles et des métaux nécessaires à la construction des éoliennes, cycles de surproduction ou de pénurie influençant les marges des fabricants de modules photovoltaïques, ou encore progrès techniques diminuant les coûts d'investissement et augmentant les rendements, en particulier dans l'éolien et le photovoltaïque. Dans l'éolien, ce progrès technique prend en particulier la forme de la « révolution éolienne silencieuse », qui rend les éoliennes terrestres davantage capables de produire de l'électricité avec des vents faibles (Chabot, 2015)<sup>11</sup>.

Les évolutions récentes les plus notables sont les baisses de coût de l'éolien. Selon Lazard (2016), le coût complet actualisé de l'éolien terrestre a diminué de 66 % entre 2009 et 2016 pour les États-Unis, celui des parcs solaires au sol baissant sur la même période de 85 %.

Les résultats des appels d'offre récents confirment ces baisses de coût massives. En 2010, le prix moyen payé dans le monde pour l'électricité d'origine solaire dans le cadre de ces appels d'offre s'élevait à 250 dollars US par MWh contre 50 en 2016 (Irena, 2017)<sup>12</sup>. Pour l'électricité éolienne, ce prix est passé de 80 à 40 dollars sur la même période. Quant à l'éolien en mer, longtemps considéré comme nettement plus coûteux, il a vu ses prix s'effondrer lors des récents appels d'offre au Danemark, aux Pays-Bas et en Allemagne. Dans ce dernier pays, parmi les quatre projets retenus lors du dernier appel d'offre, l'un a obtenu un prix garanti de 60 €/MWh tandis que les trois autres ne toucheront que le prix de marché de l'électricité (Irena, 2017)<sup>12</sup>.

## Et demain ?

Les études prospectives prévoient une poursuite de la baisse des coûts complets actualisés pour l'éolien et le photovoltaïque. Pour le nucléaire et les fossiles, les perspectives sont moins homogènes. Pour les fossiles, l'évolution du coût complet dépendra largement de celui des combustibles, notoirement difficile à anticiper. Pour le nucléaire, l'évolution constatée des coûts laisse présager une tendance globalement à la hausse.

Une étude récente de l'ADEME (2015a<sup>13</sup>, 2015b) fournit une estimation des coûts complets en 2050 en France pour plusieurs technologies renouvelables ainsi que pour les centrales à gaz (tableau 2). Selon ce rapport, hormis le solaire à concentration, toutes les énergies renouvelables considérées deviendraient à l'horizon 2050 moins chères que les centrales à gaz. Les résultats de cette étude sont très proches de ceux de l'Agence Internationale de l'Énergie (2014), et on peut considérer qu'elles sont très pessimistes, au vu des résultats des appels d'offre mentionnés ci-dessus.

Filière	€/ MWh
Cogénération biogaz	51
Géothermie	57
Solaire photovoltaïque (parc au sol)	60
Éolien à terre	65
Éolien en mer posé	80
Cogénération bois	80
Solaire photovoltaïque en toiture	85
Éolien en mer flottant	107
Houlomoteur et hydroliennes	110
Gaz (centrale à cycle combiné)	121
Turbines à gaz	177
Solaire à concentration	298

Tableau 2 : Coût complet actualisé de diverses sources de productions d'électricité en France en 2050 – Source : étude ADEME (2015a, 2015b) en €<sub>2015</sub> par MWh

Au-delà du coût de production par technologie, il est possible, moyennant diverses hypothèses, de calculer le coût de l'ensemble du système électrique d'un pays (besoins de stockage, de moyens de flexibilité, ...) pour différents mix de production. L'étude de l'ADEME déjà mentionnée (2015a) a réalisé cet exercice pour la France en 2050. Selon ses conclusions, atteindre 100 % de renouvelables dans la production électrique coûterait à peine plus cher que de se limiter à 40 % : 50,4 milliards d'euros par an contre 49,6, soit moins de 2 % de surcoût<sup>14</sup>.

## Conclusion

**Les estimations des coûts de production de toutes les énergies sont complexes et varient en fonction de nombreux facteurs. En ce qui concerne les renouvelables, si l'hydroélectricité est reconnue comme compétitive depuis longtemps, l'éolien terrestre et le photovoltaïque au sol présentent aujourd'hui un coût complet du kWh électrique similaire à celui des énergies fossiles et inférieur au nucléaire. À l'avenir, le coût des renouvelables devrait encore baisser. Atteindre 100 % d'énergies renouvelables dans la production d'électricité en France à l'horizon 2050 ne devrait pas générer de surcoût significatif.**

## Sources et références

1. ↑ La différence de coût du photovoltaïque résidentiel entre l'Allemagne et les États-Unis (du simple au double en 2013) s'explique en particulier par le coût d'installation plus faible dans la première. *Photovoltaic System Pricing Trends*, NREL, 2014, disponible sur : [www.nrel.gov/docs/fy14osti/62558.pdf](http://www.nrel.gov/docs/fy14osti/62558.pdf)
2. ↑ *Should Governments Use a Declining Discount Rate in Project Analysis ?* Review of Environmental Economics and Policy 8(2) : 145-163, Arrow et al., 2014.
3. ↑ Cette différence entre taux d'actualisation privés et publics génère une divergence entre coût privé et public pour une même technologie. Une autre raison de cette divergence vient des atteintes à l'environnement et à la santé, qui sont prises en compte dans le calcul économique public mais ne le sont pas dans les calculs privés, à moins que ces atteintes soient internalisées par le biais de taxes ou d'autres politiques publiques, ce qui n'est que partiellement le cas. Une troisième raison est due aux taxes et subventions.
4. ↑ *Un mix électrique 100 % renouvelable ? Analyses et optimisations. Évolution des coûts technologiques*, ADEME, 2015b, disponible sur : [www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/annexe\\_couts.pdf](http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/annexe_couts.pdf)
5. ↑ *Energy Technology Perspectives 2014*, Agence internationale de l'énergie, 2014.
6. ↑ *Energy Technology Perspectives 2015*, Agence internationale de l'énergie, 2015.
7. ↑ *Projected Costs of Generating Electricity*, Agence internationale de l'énergie et Agence pour l'énergie nucléaire, 2015.
8. ↑ *Wind and solar boost cost competitiveness versus fossil fuels*, Bloomberg New Energy Finance (BNEF), 2015, disponible sur : [about.bnef.com/content/uploads/sites/4/2015/10/BNEF\\_PR\\_20151006\\_Global-Cost-of-Energy.pdf](http://about.bnef.com/content/uploads/sites/4/2015/10/BNEF_PR_20151006_Global-Cost-of-Energy.pdf)
9. ↑ *Lazard's Levelized Cost of Energy Analysis*, version 10.0, Lazard, 2016, disponible sur : [www.lazard.com/media/438038/levelized-cost-of-energy-v100.pdf](http://www.lazard.com/media/438038/levelized-cost-of-energy-v100.pdf)
10. ↑ *Cost and performance data for power generation technologies*, Black & Veatch Corporation, 2012, disponible sur : [bv.com/docs/reports-studies/nrel-cost-report.pdf](http://bv.com/docs/reports-studies/nrel-cost-report.pdf)
11. ↑ *Évaluation des bonnes surprises dans les dix ans qui viennent et découlant de la révolution éolienne silencieuse*, B. Chabot, 2015, disponible sur : [www.ddmagazine.com/images/pdf/Bernard\\_Chabot\\_130VfFutureRES1TWh.pdf](http://www.ddmagazine.com/images/pdf/Bernard_Chabot_130VfFutureRES1TWh.pdf)
12. ↑ *Renewable Energy Auctions : Analysing 2016*, Irena, 2017, disponible sur : [www.irena.org/menu/index.aspx?mnu=Subcat&PriMenuID=36&CatID=141&SubcatID=3806](http://www.irena.org/menu/index.aspx?mnu=Subcat&PriMenuID=36&CatID=141&SubcatID=3806)
13. ↑ *Un mix électrique 100 % renouvelable ? Analyses et optimisations*, Rapport final, ADEME, 2015a, disponible sur : [www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/rapport\\_final.pdf](http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/rapport_final.pdf)
14. ↑ Le coût par kWh (production, réseau, stockage et flexibilité de la consommation), atteint 11,9 centimes d'euros pour un mix constitué à 100 % d'énergies renouvelables et 11,7 centimes d'euros pour 40 % de renouvelables.

Crédit photo : [Virage-énergie Nord Pas de Calais](#)

